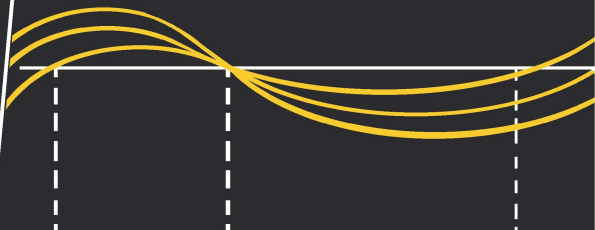
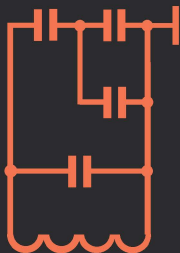


Ю.И. ФЕЛИСТАК



ПРАВИЛЬНО ЛИ НАСТРОЕН ПРИЕМНИК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

Выпуск 572

Ю. И. ФЕЛИСТАК

ПРАВИЛЬНО ЛИ НАСТРОЕН ПРИЕМНИК?



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1965

ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Берг А. И., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И.,
Геништа Е. Н., Жеребцов И. П., Канаева А. М., Корольков В. Г.,
Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И.,
Шамшур В. И.

УДК 621.396.621.324 . 621.3.075
Ф 38

Рассказывается об основах сопряжения и настройке контуров супергетеродинного приемника. Описана полная методика сопряжения контуров и упрощенный способ сопряжения. Рассматриваются ошибки, возможные при упрощенном способе сопряжения, и приводится методика проверки качества сопряжения.

Книга рассчитана на радиолюбителей, знакомых с принципом работы супергетеродинного приемника.

Фелистак Юрий Иванович, Правильно ли настроен приемник?

М.-Л., издательство «Энергия», 1965 г.

48 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 572).

Тематический план 1964 г., № 334

Редактор А. Г. Соболевский

Техн. редактор Г. С. Юдаева

Обложка художника А. М. Кубшинникова

Слано в набор	9/XII 1964 г.	Подписано в печать	13/II 1965 г.
Бумага 84×108 ¹ / ₃₂	Печ. л. 2,46	Уч.-изд. л. 3,26 Т-03091	Тираж 100000 экз.
	Цена 13 коп.	Зак. № 2301	

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР
по печати.

Гор. Владимир, ул. Б. Ременники, д. 18-6

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
Глава первая. Настройка контуров промежуточной частоты .	5
Глава вторая. Основы сопряжения	11
Основные положения	11
Формулы сопряжения	20
Глава третья. Методика сопряжения	31
Два метода сопряжения	31
Сопряжение по методу трех частот	35
Сопряжение по методу двух частот	40
Сопряжение в двух и в одной точках	47

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в супергетеродинном приемнике основное усиление осуществляется не на частоте сигнала f_c , а на промежуточной частоте $f_{п}$, образующейся в смесителе как разность между частотой сигнала и частотой гетеродина $f_{г}$. Поэтому в супергетеродинном приемнике имеются контуры промежуточной частоты, контуры преселектора (входные и каскадов высокой частоты) и контуры гетеродина. Между настройками всех этих контуров должно выполняться определенное соотношение. Контуры промежуточной частоты обычно имеют фиксированную настройку, одинаковую для всех диапазонов. Поэтому их настройка не вызывает особых затруднений. Сложнее настройка контуров преселектора и гетеродина. Настройка контуров преселектора изменяется в зависимости от частоты принимаемого сигнала. Одновременно должна изменяться и настройка гетеродинного контура, при этом разность между их резонансными частотами должна равняться промежуточной частоте. Настройка контуров преселектора и гетеродина, обеспечивающая нужную разность резонансных частот этих контуров, называется сопряжением контуров.

Существует несколько различных способов сопряжения, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Перед сопряжением контуров необходимо настроить усилитель промежуточной частоты, поэтому сначала рассмотрим настройку контуров промежуточной частоты.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

НАСТРОЙКА КОНТУРОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Методика настройки. При амплитудной модуляции, помимо основной частоты, радиостанция передает ряд боковых частот, т. е. радиостанция занимает в диапазоне полосу частот

$$P_c = 2F_v, \quad (1)$$

где F_v — высшая частота модуляции.

Приемник должен принимать всю эту полосу частот, иначе высшие частоты модулирующего сигнала срезаются и передача будет искажена. Чтобы этого не случилось, должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} P_p &\geq P_c; \\ P_n &\geq P_c; \\ f_v &\geq F_v, \end{aligned} \quad (2)$$

где P_p — полоса пропускания входных контуров;

P_n — полоса пропускания контуров усилителя промежуточной частоты;

f_v — высшая частота усилителя низкой частоты приемника.

Практически при заданной высшей частоте усилителя низкой частоты приемника $f_v < F_v$ можно ограничиться более узкой полосой пропускания усилителей и высокой и промежуточной частоты: $P_p \geq 2f_v$ и $P_n \geq 2f_v$.

От ширины полосы пропускания усилителя промежуточной частоты зависит также избирательность приемника по соседнему каналу. Чем уже полоса пропускания, тем лучше избирательность. Отсюда видно, что настройка усилителя промежуточной частоты заключается не только в настройке всех его контуров на промежуточную частоту, но также в получении необходимой формы резонансной кривой, при которой будет получена требуемая полоса пропускания.

Настройку контуров промежуточной частоты начинают с детекторного каскада. Выход сигнал-генератора через конденсатор емкостью 0,01 мкф подключают к управляющей сетке лампы последнего каскада усилителя промежуточной частоты (УПЧ). Если на выходе усилителя включен трансформатор промежуточной частоты, то контур, включенный в анодной цепи лампы, шунтируют сопротивлением 30—50 ком.

Если связь между контурами трансформатора ПЧ меньше критической, то общая резонансная кривая будет одногорбой и настройку можно вести по максимуму выходного напряжения и без шунтирования контуров. При связи между контурами больше критической резонансная кривая становится двугорбой с провалом на резонансной частоте. Такой трансформатор ПЧ настраивать по максимуму выходного напряжения нельзя. В этом случае при настройке одного из контуров другой контур трансформатора шунтируют. В результате резонансные свойства этого контура притупляются, и двугорбая резонансная кривая трансформатора превращается в одногорбую, что позволяет настраивать трансформатор ПЧ обычным способом, т. е. по максимуму напряжения на выходе.

Если величина связи заранее неизвестна, то трансформаторы промежуточной частоты лучше сразу настраивать с последовательным шунтированием контуров. Для этого, установив по шкале сигнал-генератора промежуточную частоту, подстроечным сердечником настраивают детекторный контур усилителя ПЧ по максимальному показанию индикатора выхода — вольтметра переменного тока, включенного на выходе приемника параллельно звуковой катушке громкоговорителя.

При настройке контуров выходное напряжение сигнал-генератора устанавливают таким, чтобы напряжение на звуковой катушке громкоговорителя не превышало значения

$$U_n = \sqrt{P_n R}, \quad (3)$$

где P_n — номинальная мощность выходного каскада, *вт*;

R — сопротивление звуковой катушки громкоговорителя, *ом*.

Глубину модуляции сигнал-генератора устанавливают в пределах 30—80%. Регулятор громкости приемника должен быть в положении максимальной громкости. Если полоса пропускания приемника переменная, то настройку контуров надо вести в положении «Узкая полоса». Автоматическую регулировку усиления (АРУ) следует отключить, так как она, притупляя настройку, затрудняет определение резонанса. Если начальное смещение на управляющие сетки ламп усилителя ПЧ подается от катодных сопротивлений, то для отключения АРУ замыкают конденсаторы фильтра в ее цепи. Если АРУ с задержкой, то следует вести настройку при небольшом уровне сигнала, при котором действие АРУ еще не сказывается. Модуляция в этом случае должна быть на уровне 70—80%.

После настройки детекторный контур шунтируют сопротивлением, отключают шунт от контура в анодной цепи и по максимальному показанию индикатора выхода настраивают анодный контур на промежуточную частоту.

Затем таким же способом настраивают контуры остальных каскадов УПЧ. Последним настраивают трансформатор ПЧ, включенный в анодную цепь лампы смесителя. При его настройке выход сигнал-генератора через конденсатор емкостью 0,01 *мкф* подключают к управляющей сетке лампы смесителя (в приемнике включен длинноволновый диапазон).

Иногда из-за неправильно выбранной емкости конденсатора или индуктивности катушки контур не удается настроить на промежуточную частоту. Если при этом напряжение на выходе приемника увеличивается при ввертывании сердечника, то надо увеличить чис-

ло витков катушки, или емкость конденсатора. И наоборот, если напряжение на выходе приемника увеличивается при вывертывании сердечника, надо уменьшить число витков катушки, или емкость конденсатора. При сильной расстройке контура или при замыкании витков в катушке уровень сигнала на выходе приемника не зависит от положения сердечника. В этом случае все контуры ПЧ шунтируют сопротивлениями 30—50 ком, оставляя незашунтированным только проверяемый контур и изменяя частоту сигнал-генератора, находят по индикатору выхода его резонансную частоту. Если она окажется выше промежуточной частоты, то увеличивают число витков катушки, и, наоборот, если ниже, то уменьшают. При замыкании витков катушки резонанс будет выражен очень слабо. Такую катушку надо заменить.

Резонансная кривая. После настройки контуров снимают по точкам резонансную кривую усилителя ПЧ и определяют его полосу пропускания. Сигнал подают на управляющую сетку лампы смесителя. Измерения делают через 1—2 кГц в обе стороны от промежуточной частоты. Чтобы исключить влияние АРУ, напряжение на выходе приемника поддерживают постоянным (по индикатору выхода), соответственно изменяя напряжение на выходе сигнал-генератора. При снятии резонансной кривой следует использовать нониус — лимб с равномерными делениями на vernьерной ручке сигнал-генератора. Изменив частоту сигнал-генератора на 10—20 кГц, замечают, на сколько делений при этом повернулся нониус. Отсюда определяют цену одного деления нониуса. В дальнейшем пользуются делениями нониуса для перестройки сигнал-генератора на 1—2 кГц.

Продлав нужные измерения, вычерчивают резонансную кривую. По горизонтальной оси откладывают частоту, а по вертикальной — отношение напряжений $U_{с. рез}/U_c$, где $U_{с. рез}$ — напряжение на выходе сигнал-генератора в момент резонанса на промежуточной частоте; U_c — напряжение на выходе сигнал-генератора на частоте, отличной от промежуточной частоты.

Полученные точки соединяют плавной кривой (рис. 1, а). Резонансная кривая может быть одногорбая, двухгорбая или трехгорбая (рис. 1, б, в и г). В последнем случае в усилителе имеются трансформаторы ПЧ со связью как больше критической, так и меньше критической, или одиночные резонансные контуры. Трехгорбая резонансная кривая с небольшими провалами между горами — наилучшая форма резонансной кривой, приближающаяся к идеальной. Настройку усилителя ПЧ нельзя считать законченной, пока не получится желаемая форма резонансной кривой.

Полоса пропускания усилителя определяется на уровне 0,5, т. е. между частотами (по обе стороны от промежуточной частоты), для которых отношение напряжений $U_{с. рез}/U_c = 0,5$ (рис. 1, а). При переменной полосе пропускания ее ширину определяют при двух крайних положениях регулятора полосы.

Приемник I класса должен иметь полосу пропускания 7—14 кГц; у приемника II класса полоса 8—12 кГц; у приемника III класса — 10 кГц. В любительских приемниках связанного типа полоса пропускания при приеме телефонной передачи может быть значительно уже — порядка 3—4 кГц.

Впадина между горами не должна быть ниже уровня 0,7. Наличие глубокой впадины означает, что связь между контурами в трансформаторах ПЧ значительно больше оптимальной и ее следует

уменьшить. Обычно в трансформаторах ПЧ величина связи определяется расстоянием между катушками. Если это расстояние увеличить, то связь уменьшится, и наоборот. Меняя расстояние между катушками, можно добиться требуемой формы резонансной кривой и нужной полосы пропускания.

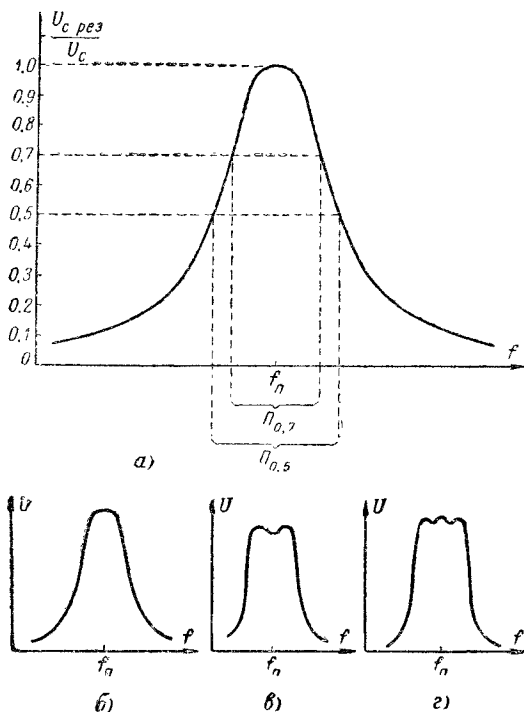


Рис. 1. Полоса пропускания контуров и форма резонансной кривой.

a — полоса пропускания; *б* — одиогобая резонансная кривая; *в* — то же двугорбая; *г* — то же трехгорбая. (f_n — промежуточная частота; $P_{0,7}$ — полоса пропускания на уровне 0,7; $P_{0,5}$ — то же на уровне 0,5).

На ширину полосы пропускания влияет также добротность контуров: чем выше добротность, тем уже полоса. Для расширения полосы можно снизить добротность контуров, например, шунтировав катушки индуктивности сопротивлениями 30—100 *ком*.

Так как избирательность приемника по соседнему каналу определяется в основном усилителем промежуточной частоты, то по форме его резонансной кривой можно определить величину ослабления по соседнему каналу (при расстройке на 10 *кГц*). Для этого на резонансной кривой находят две точки, отстоящие в обе стороны

от промежуточной частоты на 10 кГц. Отношение напряжений $U_c/U_{c,рез.}$, соответствующих этим точкам, дает ослабление по соседнему каналу. Эту величину обычно выражают в децибелах. Для приемника I класса она должна быть не менее 56 дБ (ослабление примерно в 600 раз); для приемника II класса не менее 30 дБ (ослабление примерно в 30 раз); для приемника III класса 26 дБ (ослабление в 20 раз).

Большое значение имеет симметричность резонансной кривой усилителя ПЧ. Горбы резонансной кривой должны располагаться симметрично относительно промежуточной частоты, а спады иметь одинаковую крутизну. Асимметрия резонансной кривой может быть вызвана неправильной настройкой, неодинаковой добротностью контуров, а также паразитными обратными связями, вызывающими самовозбуждение усилителя. Проверку усилителя на влияние обратных связей производят следующим образом. Снимают резонансную кривую при понижении напряжении на экранирующих сетках ламп УПЧ. Если характеристика усилителя при нормальном и пониженном напряжении одинакова, то паразитные связи не оказывают существенного влияния на работу усилителя и асимметрия резонансной характеристики вызвана другими причинами. Если при пониженном напряжении на экранирующих сетках ламп УПЧ асимметрия характеристики исчезает или значительно уменьшается, то необходимо улучшить экранировку усилителя ПЧ. В усилителях ПЧ с несколькими каскадами контуры ПЧ должны быть экранированы со всех сторон. Сеточные и анодные выводы катушек, а также лампы всех каскадов УПЧ должны быть тоже экранированы. Кроме того, желательно установить экраны между сеточными и анодными лепестками ламповых панелек. Наконец емкость конденсаторов контуров УПЧ следует увеличить до 500—600 пф, а в некоторых случаях до 1 000 пф (при соответствующем уменьшении индуктивности катушки). Полезно одиночные резонансные контуры замесить трансформаторами ПЧ. В трансформаторах следует попробовать поменять местами выводы сеточной или анодной катушки. В цепях питания улучшают развязки: увеличивают емкость конденсаторов, вводят новые звенья. Сеточные и анодные цепи укорачивают и удаляют друг от друга. Монтаж УВЧ, преобразователя и первых каскадов УПЧ экранируют со всех сторон (каждый каскад отдельно). Если перечисленные меры не дают удовлетворительных результатов, то следует ввести в катодные, сеточные и анодные цепи ламп УПЧ стабилизирующие сопротивления (рис. 2) и снизить напряжение на экранирующих сетках ламп УПЧ.

При подключении цепей АРУ резонансные свойства усилителя несколько притупляются, но симметрия резонансной кривой должна сохраниться. В противном случае необходимо улучшить развязки в цепях АРУ.

Настройка антенного фильтра. На рис. 3, а изображен простой фильтр-пробка. Контур LC настроен на промежуточную частоту. Поэтому на этой частоте он имеет большое сопротивление и не пропускает ее к входным цепям приемника. Настраивают фильтр следующим способом. Сигнал-генератор, настроенный на промежуточную частоту, через эквивалент антенны подключают к зажимам «Антенна» и «Земля» приемника. В качестве эквивалента антенны на длинноволновом и средневолновом диапазонах может служить конденсатор емкостью 200 пф, а на коротковолновом поддиапазо-

не — непроволочное сопротивление 300 ом. Вращая подстроечный сердечник катушки антенного фильтра и увеличивая по мере надобности выходное напряжение сигнал-генератора, добиваются минимальных показаний индикатора выхода приемника. Таким же путем настраивают и отсасывающий фильтр, изображенный на рис. 3, б.

Чтобы определить эффективность действия фильтра, измеряют чувствительность приемника по промежуточной частоте с фильтром и без него и сравнивают ее с чувствительностью на средневолновом и длинноволновом диапазонах. Чувствительность приемника на данной частоте равна э. д. с. сигнал-генератора (модуляция 30%), при которой напряжение на выходе приемника составляет 30% от напряжения номинальной мощности. Отношение чувствительности, измеренной по промежуточной частоте, к чувствительности, измеренной на средневолновом и длинновол-

новом (модуляция 30%), при которой напряжение на выходе приемника составляет 30% от напряжения номинальной мощности. Отношение чувствительности, измеренной по промежуточной частоте, к чувствительности, измеренной на средневолновом и длинновол-

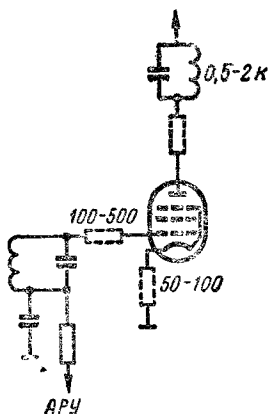


Рис. 2. Включение антипаразитных сопротивлений.

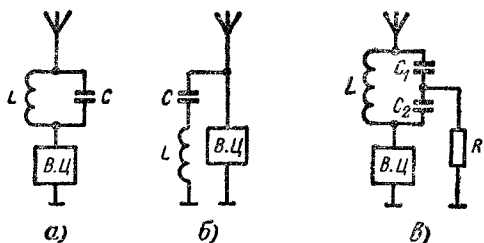


Рис. 3. Антенные фильтры.

а — простой заграждающий фильтр-пробка; б — отсасывающий фильтр, в — сложный заграждающий фильтр (В. Ц. — входные цепи приемника).

новом диапазонах, называется ослаблением сигнала по промежуточной частоте. Обычно эта величина выражается в децибелах.

Приемник I класса должен иметь ослабление по промежуточной частоте не менее 40 дб (в 100 раз); приемник II класса — не менее 34 дб (примерно в 50 раз); приемник III класса — не менее 20 дб (в 10 раз).

Фильтры, собранные по схемам, изображенным на рис. 3, а и б, не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к приемникам I и II классов. Значительно лучшие результаты дает фильтр, собранный по схеме, показанной на рис. 3, в. Напряжение промежуточной частоты, действующее в этой схеме на входные цепи приемника, равно сумме напряжений на конденсаторе C_2 и сопротивлении R . На резонансной частоте фильтра, т. е. на промежуточной частоте, эти напряжения противоположны по фазе. Соответствующим подбором сопротивления R можно добиться полного равенства этих напряжений по абсолютной величине. В этом случае помеха на промежуточной частоте будет подавлена полностью. На частотах, отличных от промежуточной, взаимной компенсации напряжений не происходит. Поэтому эти частоты проходят через фильтр почти без ослабления.

Такой фильтр вначале настраивают на промежуточную частоту без сопротивления R по минимуму показаний индикатора выхода приемника, т. е. так же, как обычный фильтр-пробку. Затем включают вместо сопротивления R переменное сопротивление и, подбирая его величину, добиваются исчезновения сигнала промежуточной частоты на выходе приемника. Измерив полученное значение сопротивления, устанавливают в схему постоянное сопротивление нужной величины. После этого еще раз подстраивают фильтр сердечником катушки.

Величина сопротивления R зависит от добротности контура фильтра. Чем выше добротность, тем больше в момент резонанса напряжение на конденсаторе C_2 и, следовательно, тем больше должна быть величина сопротивления R . При добротности контура 20—25 величина сопротивления R получается около 12—15 ком; при добротности контура 30—35 — около 18—20 ком.

Если в фильтрах, собранных по схемам, изображенным на рис. 3, а и б, выгодно применять контуры как можно более высокой добротности, то в фильтре, работающем по схеме рис. 3, в, существует оптимальная величина добротности. При более высокой добротности полоса заграждения¹ фильтра получается уже полосы пропускания усилителя промежуточной частоты, и на крайних частотах полосы пропускания УПЧ помехи через такой фильтр будут проходить. Для промежуточной частоты 465 кГц хорошие результаты получаются с катушкой, намотанной на четырехсекционированном миниатюрном каркасе с ферритовым сердечником и конденсаторах C_1 и C_2 емкостью по 1 000 пф каждый. При катушке, намотанной на картонном или бакелитовом каркасе диаметром 12 мм с карбонильным сердечником, оптимальные результаты получаются при конденсаторах C_1 и C_2 емкостью примерно по 240 пф.

При сборке антенного фильтра надо учитывать, что фильтр-пробка при приеме на длинноволновом диапазоне оказывает индуктивное сопротивление полезному сигналу, а при приеме на средневолновом и коротковолновом — емкостное сопротивление. Поэтому в фильтрах, работающих по схемам рис. 3, а и в, выгодно брать индуктивность контура меньше, а емкость конденсаторов больше, а в отсасывающем фильтре (рис. 3, б), наоборот, индуктивность выгодно брать больше, а емкость меньше.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОСНОВЫ СОПРЯЖЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В большинстве случаев в супергетеродинном приемнике частоту гетеродина выбирают выше частоты сигнала:

$$f_r - f_c = f_n, \quad (4)$$

где f_r — частота гетеродина;
 f_c — частота сигнала;
 f_n — промежуточная частота.

¹ Полоса заграждения — разность частот, на которых ослабление сигнала в 2 раза меньше, чем на резонансной частоте фильтра.

Только на коротковолновом диапазоне частота гетеродина иногда выбирается ниже частоты сигнала:

$$f_c - f_r = f_n. \quad (5)$$

Здесь рассматривается первый из этих случаев сопряжения как имеющий наибольшее практическое значение.

Между настройкой гетеродинных и входных контуров приемника должно выполняться соотношение

$$f_r - f_{вх} = f_n, \quad (6)$$

где $f_{вх}$ — резонансная частота входного контура.

Равенство (6) является условием точного сопряжения. Если входные контуры окажутся настроенными на какую-то другую частоту, то полезный сигнал будет ослаблен, а помехи возрастут. Желательно, чтобы точное сопряжение между настройкой входных и гетеродинных контуров выполнялось во всех точках диапазона.

Если на графике по горизонтальной оси отложить угол поворота подвижных пластин блока конденсаторов переменной емкости, а по вертикальной — разность резонансных частот гетеродинных и входных

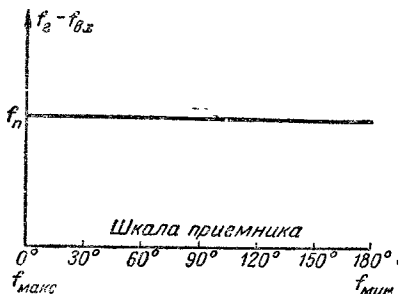


Рис. 4. Идеальное сопряжение.

контуров ($f_r - f_{вх}$), то в идеальном случае при любом угле поворота подвижных пластин эта разность должна равняться промежуточной частоте (рис. 4).

Осуществить такое идеальное сопряжение во всех точках диапазона нельзя. В самом деле, чтобы условие (6) выполнялось на концах диапазона, у входных и гетеродинных контуров разность между граничными частотами должна быть одинакова:

$$f_{г.макс} - f_{г.мин} = f_{вх.макс} - f_{вх.мин}. \quad (7)$$

Однако тогда перекрытие по частоте у них будет разное, так как частота гетеродина больше резонансной частоты входных контуров.

Перекрытие зависит от конечной и начальной емкости контура:

$$n = \frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \sqrt{\frac{C_{макс}}{C_{мин}}},$$

где n — перекрытие по частоте;

$f_{макс}$ — максимальная частота контура;

$f_{мин}$ — минимальная частота;

$C_{макс}$ — максимальная емкость контура;

$C_{мин}$ — минимальная емкость.

При стандартном конденсаторе переменной емкости перекрытие по частоте равно примерно трем. Если, скажем, в начале диапазона

входной контур настраивается на частоту 500 кГц, то в конце диапазона он будет настроен на частоту 1 500 кГц. Частота гетеродинного контура в этом случае должна измениться от 1 000 до 2 000 кГц ($f_{\text{г}} = 500$ кГц), т. е. только в 2 раза. На коротковолновом диапазоне эта разница несколько меньше, а на длинноволновом, наоборот, еще больше.

Для входных контуров отношение максимальной и минимальной емкостей на всех диапазонах может быть одинаково. В гетеродинных же контурах это отношение должно меняться от диапазона к диапазону, поскольку меняется отношение граничных частот, генерируемых гетеродином. Поэтому если даже создать конденсатор с требуемым перекрытием для гетеродинных контуров одного диапазона, то для другого диапазона он не будет годиться.

Обычно в гетеродинных и входных контурах применяют одинаковые конденсаторы настройки, объединенные на одной оси, а перекрытие по емкости у гетеродинных контуров сужают с помощью дополнительных конденсаторов постоянной емкости, включаемых параллельно и последовательно основному конденсатору настройки гетеродинного контура. Эти дополнительные конденсаторы называются сопрягающими. Сопрягающий конденсатор $C_{\text{пар}}$ может подключаться параллельно катушке $L_{\text{г}}$ (рис. 5, а) или параллельно конденсатору настройки C (рис. 5, б). Принцип действия обеих схем одинаков, но конструктивно схема, показанная на рис. 5, а, проще, так как не требует для переключения конденсаторов $C_{\text{пар}}$ специальной платы переключателя. На примере этой схемы рассмотрим принцип действия сопрягающих конденсаторов.

Емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ значительно больше начальной емкости конденсатора настройки C , поэтому на высокочастотном конце диапазона их общая емкость близка к начальной емкости конденсатора настройки (10—15 пф). Но при полностью введенных подвижных пластинах конденсатора настройки их общая емкость оказывается заметно ниже максимальной емкости конденсатора C . Сопрягающий конденсатор $C_{\text{пос}}$, почти не влияя на начальную емкость контура, заметно уменьшает его максимальную емкость, при этом чем меньше емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$, тем сильнее его влияние.

Теперь рассмотрим действие конденсатора $C_{\text{пар}}$. Когда пластины конденсатора C выведены, конденсатор $C_{\text{пар}}$ оказывается подключенным параллельно небольшой (10—15 пф) общей емкости конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и C . Начальная емкость контура в этом случае определяется в основном емкостью конденсатора $C_{\text{пар}}$ (на высокочастотном конце диапазона). Но на низкочастотном конце диапазона, когда емкость конденсатора C близка к максимальной, общая емкость конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и C оказывается значительно больше емкости конденсатора $C_{\text{пар}}$ и он не влияет существенно на величину их общей емкости. Таким образом, сопрягающий конденсатор $C_{\text{пар}}$, почти не влияя на конечную (максимальную) емкость конту-

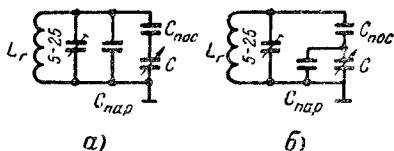


Рис. 5. Включение сопрягающих конденсаторов в контур гетеродина.

ра заметно увеличивает его начальную емкость, при этом чем больше емкость конденсатора $C_{\text{пар}}$, тем сильнее его влияние. Соответствующим подбором емкостей сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$ можно уменьшить конечную емкость контура и одновременно увеличить его начальную емкость, добившись тем самым необходимо-го перекрытия по частоте.

Однако сопряжение можно осуществить и без сопрягающих конденсаторов только путем подбора индуктивности гетеродинного контура.

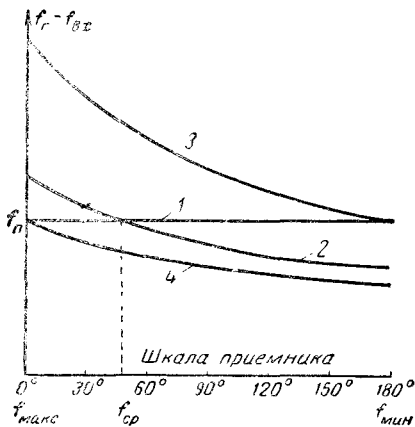


Рис. 6. Сопряжение в одной точке.

1 — идеальное сопряжение; 2 — точное сопряжение на средней частоте диапазона; 3 — точное сопряжение на низкочастотном конце диапазона; 4 — точное сопряжение на высокочастотном конце диапазона.

Сопряжение без сопрягающих конденсаторов. Настройка гетеродинного контура на необходимую частоту осуществляется изменением индуктивности катушки этого контура так, чтобы получить нужную разность частот [см. формулу (6)], при этом индуктивность гетеродинного контура должна быть меньше индуктивности входного.

Так как контур гетеродина не имеет сопрягающих конденсаторов, то перекрытие по частоте у гетеродинных и входных контуров одинаково (рис. 6). Пусть путем подбора индуктивности гетеродинного контура L_r точное сопряжение осуществлено на низкочастотном конце диапазона (кривая 3).

$$f_{\text{г-мин}} - f_{\text{вх-мин}} = f_{\text{п.}}$$

Так как перекрытие по частоте (n) у гетеродинного и входного контура одинаково, то резонансная частота обоих контуров на высокочастотном конце будет в n раз больше и разность между частотами увеличится в n раз:

$$f_{\text{г-макс}} - f_{\text{вх-макс}} = n f_{\text{п.}}$$

Кривую, показывающую изменение разности $f_r - f_{vx}$, в зависимости от изменения резонансной частоты входного контура будем называть кривой сопряжения. Ход кривой сопряжения, при котором разность $f_r - f_{vx}$ увеличивается с увеличением резонансной частоты входного контура, назовем нормальным ходом кривой сопряжения, а ход кривой сопряжения, при котором разность $f_r - f_{vx}$ уменьшается с увеличением резонансной частоты входного контура, — обратным. При сопряжении без сопрягающих конденсаторов ход кривой сопряжения на протяжении всего диапазона будет нормальным. При точном сопряжении на низкочастотном конце ди-

апазона (кривая 3) наибольшая погрешность сопряжения будет на высокочастотном конце:

$$\Delta f = n f_{\Pi} - f_{\Pi} = (n - 1) f_{\Pi}. \quad (8)$$

Если точное сопряжение происходит на высокочастотном конце диапазона

$$f_{\Gamma, \text{макс}} - f_{\text{вх}, \text{макс}} = f_{\Pi}, \quad (9)$$

то на низкочастотном конце разность $f_{\Gamma} - f_{\text{вх}}$ будет в n раз меньше:

$$f_{\Gamma, \text{мин}} - f_{\text{вх}, \text{мин}} = \frac{1}{n} f_{\Pi}.$$

В этом случае наибольшая (по абсолютной величине) погрешность сопряжения будет на низкочастотном конце диапазона (кривая 4):

$$\Delta f = \frac{1}{n} f_{\Pi} - f_{\Pi} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) f_{\Pi}. \quad (10)$$

Так же можно подсчитать погрешность сопряжения на концах диапазона при точном сопряжении на средней частоте:

$$f_{\text{ср}} = \frac{f_{\text{мин}} + f_{\text{макс}}}{2}. \quad (11)$$

Погрешность сопряжения на концах диапазона при этом одинакова по абсолютной величине, но противоположна по знаку (кривая 2):

$$|\Delta f| = \frac{n - 1}{n + 1} f_{\Pi}. \quad (12)$$

Из выражений (8), (10) и (12) видно, что при точном сопряжении на средней частоте $f_{\text{ср}}$ погрешность сопряжения по диапазону получается меньше (по абсолютной величине), чем при точном сопряжении на концах диапазона.

Все же при $n=3$ и $f_{\Pi}=465$ кГц эта погрешность слишком велика. Следовательно, на длинноволновом, средневолновом и обзорном коротковолновом диапазонах сопряжение без сопрягающих конденсаторов применять нельзя. Но при уменьшении перекрытия погрешность сопряжения уменьшается. Поэтому на растянутых КВ поддиапазонах сопряжение без сопрягающих конденсаторов находит широкое применение.

Влияние индуктивности гетеродинного контура. При изменении индуктивности гетеродинного контура новая частота гетеродина связана со старой соотношением

$$f_{\Gamma, \Pi} = f_{\Gamma, \text{с}} \sqrt{\frac{L_{\Gamma, \text{с}}}{L_{\Gamma, \Pi}}}, \quad (13)$$

где $f_{\Gamma, \text{с}}$ — старая частота гетеродина (до изменения индуктивности);

$f_{\Gamma, \Pi}$ — новая частота гетеродина (после изменения индуктивности);

$L_{\Gamma, \text{с}}$ — старая индуктивность;

$L_{\Gamma, \Pi}$ — новая индуктивность.

Из этого равенства следует, что если изменилась только индуктивность гетеродинного контура, а остальные параметры остались без изменения, то наибольшее приращение частоты будет на высокочастотном конце диапазона, а наименьшее на низкочастотном. Поэтому разность $f_{г} - f_{вх}$ больше всего изменится на высокочастотном конце диапазона и меньше всего на низкочастотном. Новая кривая сопряжения пройдет ниже старой кривой (если $L_{г.н} > L_{г.с}$) или выше старой кривой (если $L_{г.н} < L_{г.с}$), но на высокочастотном конце она больше отойдет от старой кривой, чем на низкочастотном конце (рис. 6, кривые 2, 3 и 4). Увеличивая индуктивность катушки гетеродинного контура, мы опускаем кривую сопряжения, а уменьшая — поднимаем. Это справедливо и для тех случаев, когда в гетеродинном контуре имеются сопрягающие конденсаторы. Как было показано, при точном сопряжении на средней частоте диапазона $f_{ср}$ погрешности сопряжения на концах диапазона по абсолютной величине равны. Если теперь изменить индуктивность катушки гетеродинного контура, то погрешности сопряжения на одном из концов диапазона возрастает. Отсюда следует, что погрешность сопряжения будет наименьшей при сопряжении на средней частоте диапазона $f_{ср}$.

Сопряжение с помощью сопрягающего конденсатора $C_{пос}$. Рассмотрим ход кривой сопряжения при условии, что в контуре гетеродина имеется только один сопрягающий конденсатор $C_{пос}$, сужающий перекрытие по частоте. Пусть на высокочастотном конце диапазона (при $C_{мин}$) имеется точное сопряжение [см. равенство (9)].

На высокочастотном конце диапазона влияние конденсатора $C_{пос}$ незначительно, и ход кривой сопряжения будет нормальным (рис. 7, а). Но по мере вращения подвижных пластин и увеличения емкости конденсаторов блока настройки действие сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ сказывается все сильнее. Поэтому частота гетеродина будет уменьшаться медленнее резонансной частоты входного контура, и ход кривой сопряжения изменится на обратный. Разность $f_{г} - f_{вх}$, достигнув в середине диапазона минимума, к низкочастотному концу диапазона начнет возрастать.

Чем меньше емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$, тем сильнее его влияние. При увеличении емкости сопрягающего конденсатора низкочастотный конец кривой сопряжения опускается, а при уменьшении — поднимается. В середине диапазона кривая сопряжения перемещается значительно меньше, а ее высокочастотный конец остается почти без изменения (кривые 3 и 4). При определенной величине сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ ход кривой сопряжения будет таким, что на низкочастотном конце диапазона сопряжение окажется точным (кривая 5). При этом у гетеродинного контура перекрытие по частоте соответствует условию (7).

Подбором индуктивности катушки гетеродинного контура можно добиться точного сопряжения в высокочастотной части диапазона на частоте $f_{в}$, а при помощи сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ — в низкочастотной части диапазона на частоте $f_{н}$ (рис. 8, а). Частоты $f_{в}$ и $f_{н}$ следует подобрать так, чтобы погрешности сопряжения Δf в середине и на концах диапазона по абсолютной величине были равны (кривая 2):

$$\Delta f_{в} = \Delta f_{ср} = \Delta f_{н} = \Delta f. \quad (14)$$

Если теперь изменить индуктивность гетеродинного контура, то либо в середине, либо на концах диапазона погрешность сопряже-

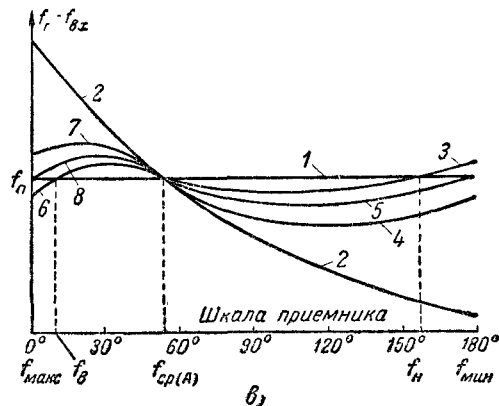
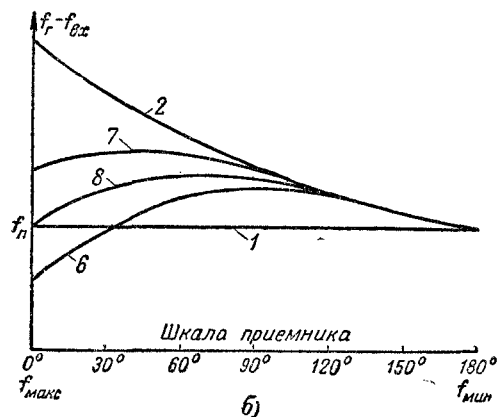
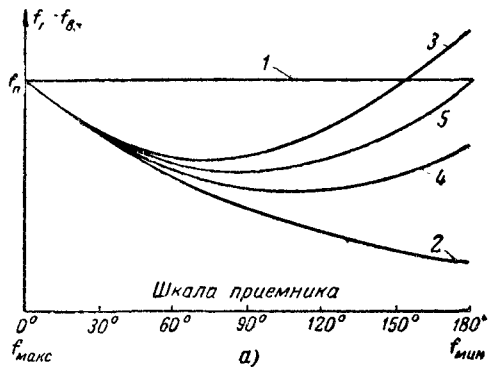


Рис. 7. Влияние сопрягающих конденсаторов.

а — сопряжение в двух точках с помощью одного сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$; б — сопряжение в двух точках с помощью одного сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$; в — сопряжение в трех точках с помощью двух сопрягающих конденсаторов (1 — линия промежуточной частоты — идеальное сопряжение; 2 — нормальная кривая сопряжения; 3 — емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ мала; 4 — емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ велика; 5 — точное сопряжение на низкочастотном конце поддиапазона; 6 — емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ велика; 7 — емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ мала; 8 — точное сопряжение на высокочастотном конце поддиапазона).

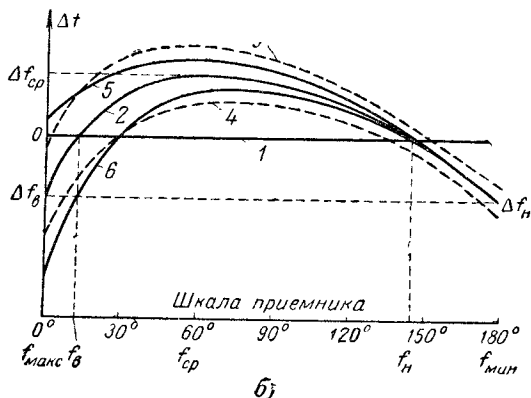
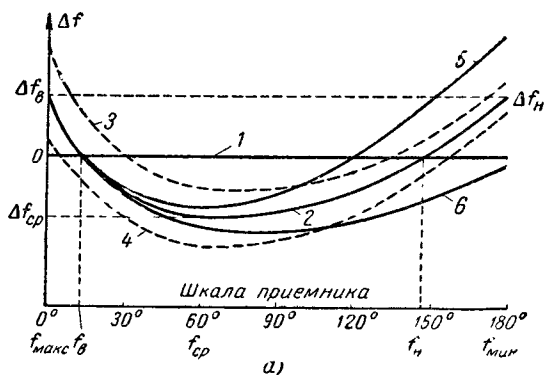


Рис. 8. Точное сопряжение в двух точках на оптимальных частотах.

а — сопряжение, при помощи одного сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$; *б* — сопряжение при помощи одного сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ (*1* — линия промежуточной частоты; *2* — кривая сопряжения на оптимальных частотах; *3* — индуктивность гетеродинного контура уменьшена; *4* — индуктивность гетеродинного контура увеличена; *5* — емкость сопрягающего конденсатора уменьшена; *6* — емкость сопрягающего конденсатора увеличена).

ния возрастает и станет больше Δf (кривые 3 и 4). Если же изменить емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$, то погрешность сопряжения возрастает либо на низкочастотном конце, либо в середине диапазона и станет больше Δf (кривые 5 и 6). Следовательно, погрешность будет наименьшей, когда по абсолютной величине она одинакова на концах и в середине диапазона. Точное сопряжение при этом осуществляется в двух точках диапазона на оптимальных частотах $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$.

Сопряжение при помощи конденсатора $C_{\text{пар}}$. Этот случай аналогичен предыдущему. На низкочастотном конце диапазона влияние конденсатора $C_{\text{пар}}$ незначительно и ход кривой сопряжения нормальный (рис. 7, б). Но на высокочастотной части диапазона конденсатор $C_{\text{пар}}$ оказывает заметное влияние и ход кривой сопряжения изменится на обратный. При увеличении емкости сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ высокочастотный конец кривой сопряжения опускается, а при уменьшении емкости поднимается. В середине диапазона кривая сопряжения при этом перемещается значительно меньше, а ее низкочастотный конец остается почти без изменения (кривые 7 и 6).

Емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ и индуктивность катушки гетеродинного контура можно подобрать так, что на высокочастотном и низкочастотном концах диапазона будет точное сопряжение (кривая 8). Погрешность сопряжения в середине диапазона будет при этом довольно велика. Но если подбором индуктивности катушки гетеродинного контура и емкости сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ добиться точного сопряжения на частотах $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$, так, чтобы погрешности сопряжения Δf в середине диапазона и на концах диапазона были одинаковыми по абсолютной величине (кривая 2 на рис. 8, б), тогда, как в предыдущем случае, отклонение будет наименьшим и при изменении индуктивности гетеродинного контура или емкости сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ будет увеличиваться (кривые 3—6).

Оптимальные частоты точного сопряжения $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ можно подсчитать по следующим формулам:

$$\begin{aligned} f_{\text{в}} &= f_{\text{макс}} - \frac{1}{6} (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}); \\ f_{\text{н}} &= f_{\text{мин}} + \frac{1}{6} (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}). \end{aligned} \quad (15)$$

При сопряжении на этих частотах погрешность сопряжения минимальна, причем погрешности в середине и на концах диапазона равны по абсолютной величине. При $n=3$ и $f_{\text{н}}=465 \text{ кгц}$ на КВ обзорном поддиапазоне $\Delta f \approx 40 \text{ кгц}$. На длинноволновом и средневолновом поддиапазонах погрешность будет несколько меньше.

Сопряжение при помощи двух сопрягающих конденсаторов. Пусть получено точное сопряжение на средней частоте диапазона $f_{\text{ср}}$ [см. формулу (11)]. Если бы не было сопрягающих конденсаторов, то ход кривой сопряжения по всему диапазону был бы нормальным (кривая 2, рис. 7, в). Сопрягающие конденсаторы на концах поддиапазона меняют ход кривой сопряжения на обратный (кривые 3—8). Подбирая емкость сопрягающих конденсаторов, можно добиться точного сопряжения в трех точках диапазона, например, на кон-

цах диапазона и в середине (кривая 5—8) или на частотах f_n , f_{cp} и f_H (кривая 3—6). То обстоятельство, что сопрягающий конденсатор $C_{пос}$ мало влияет на высокочастотный конец кривой сопряжения, а конденсатор $C_{пар}$ на низкочастотный конец, облегчает подбор конденсаторов и позволяет подбирать их независимо друг от друга. С помощью двух сопрягающих конденсаторов можно получить такую форму кривой сопряжения, при которой погрешность сопряжения будет значительно меньше, чем при сопряжении с помощью только одного сопрягающего конденсатора.

Изменяя емкость сопрягающих конденсаторов и индуктивность гетеродинного контура, можно изменять форму кривой сопряжения. При этом существует несколько различных вариантов сопряжения (формул сопряжения), каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки.

ФОРМУЛЫ СОПРЯЖЕНИЯ

Сопряжение по формуле А. Рассмотрим сопряжение, при котором крайние точки точного сопряжения совпадают с концами диапазона, а средняя точка — со средней частотой диапазона f_{cp} (рис. 7, в, кривая 5—8). У нормальной кривой (кривая 2) при точном сопряжении на средней частоте диапазона f_{cp} погрешности сопряжения на концах диапазона по абсолютной величине равны между собой [см. равенство (12)]. Поэтому будут равны между собой (по абсолютной величине) и погрешности у кривой 8-5 на обеих частях диапазона.

На рис 9 такая кривая сопряжения показана в более крупном масштабе (кривая 3). Если уменьшить индуктивность гетеродинного контура, то кривая сопряжения поднимется и перейдет в кривую 1. Погрешность сопряжения на концах поддиапазона станет положительной. Чтобы опустить концы кривой и добиться точного сопряжения на концах диапазона, надо увеличить емкости обоих сопрягающих конденсаторов (кривая 2). И, наоборот, при увеличении индуктивности гетеродинного контура кривая 3 перейдет в кривую 5, а затем, при уменьшении сопрягающих емкостей, — в кривую 4. Крайние частоты у гетеродинного контура (кривые 2, 3 и 4) равны, следовательно, одинаковы и перекрытия по частоте. Но индуктивности гетеродинного контура и емкости сопрягающих конденсаторов различны, т. е. при сопряжении с помощью двух сопрягающих конденсаторов одно и то же перекрытие по частоте может быть получено при различных значениях емкостей сопрягающих конденсаторов, при этом чем больше индуктивность гетеродинного контура, тем меньше емкости сопрягающих конденсаторов и, наоборот, чем меньше индуктивность, тем больше емкости сопрягающих конденсаторов. При этом индуктивность гетеродинного контура L_r может изменяться в пределах:

$$L_{r.мин} < L_r < L_{r.макс}, \quad (16)$$

где $L_{r.мин}$ — индуктивность гетеродинного контура, при которой емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос} = \infty$;

$L_{r.макс}$ — индуктивность гетеродинного контура, при которой емкость сопрягающего конденсатора $C_{пар} = 0$.

Если $C_{\text{пос}} = \infty$ или $C_{\text{пар}} = 0$, то сопряжение получается только в двух точках. При уменьшении индуктивности гетеродинного контура точка точного сопряжения в середине поддиапазона перемещается к низкочастотному концу диапазона. Погрешность сопряжения в этой части диапазона уменьшается, а в высокочастотной части увеличивается. При увеличении индуктивности, наоборот, точка точного сопряжения в середине поддиапазона перемещается к высокочастотному концу диапазона; погрешность сопряжения в этой

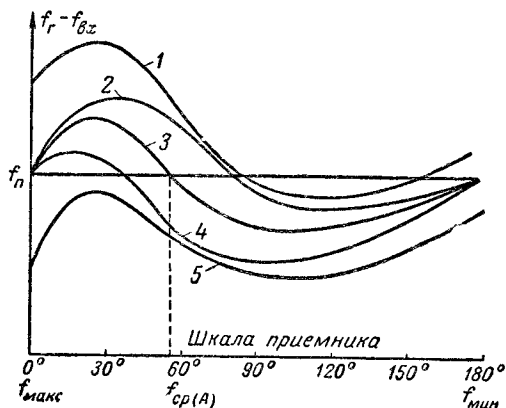


Рис. 9. Точное сопряжение на концах и на средней частоте диапазона $f_{\text{ср(A)}}$.

1 — индуктивность катушки гетеродинного контура уменьшена; 2 — емкость сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$ увеличена — индуктивность гетеродинного контура мала; 3 — емкость сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$ и индуктивность гетеродинного контура L_r обеспечивают точное сопряжение на концах диапазона и на средней частоте диапазона $f_{\text{ср(A)}}$; 4 — емкость сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$ уменьшена — индуктивность гетеродинного контура велика; 5 — индуктивность катушки гетеродинного контура увеличена.

части диапазона уменьшается, а в низкочастотной части увеличивается (рис. 9, кривые 2 и 4).

Таким образом, при сопряжении в трех точках (на концах диапазона и в его середине) наименьшая погрешность получается в том случае, когда она на обеих частях диапазона одинакова, т. е. при точном сопряжении на средней частоте диапазона, рассчитанной по формуле (11). Емкость сопрягающих конденсаторов и индуктивность катушки гетеродинного контура должны быть при этом строго определенной величины (кривая 3). Сопряжение в этом случае осуществляется на следующих трех частотах:

$$\left. \begin{aligned} f_{в(А)} &= f_{\text{макс}}; \\ f_{\text{ср}(А)} &= \frac{f_{\text{мин}} + f_{\text{макс}}}{2}; \\ f_{н(А)} &= f_{\text{мин}}. \end{aligned} \right\} \quad (А)$$

Подобную запись частот точного сопряжения будем в дальнейшем называть формулой сопряжения.

При сопряжении по формуле (А) погрешность сопряжения на коротковолновом обзорном диапазоне при $n=3$ и $f_{п}=465$ кГц составляет $\Delta f \approx 26$ кГц. На средневолновом и длинноволновом диапазонах погрешность сопряжения несколько меньше, но все еще слишком велика. Поэтому сопряжение по формуле (А) возможно только на коротковолновом диапазоне.

Сопряжение по формуле (Б). Вернемся к рис. 7, в. Если при точном сопряжении по формуле (А) (кривая 5-8) увеличить емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ и одновременно уменьшить емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$, то можно значительно уменьшить погрешность сопряжения в каждой части диапазона. Тогда точное сопряжение будет уже не на концах диапазона, а на частотах $f_{в}$ и $f_{н}$. Погрешность сопряжения на концах диапазона при этом увеличится, но зато уменьшится общая погрешность по диапазону. Погрешность сопряжения на концах диапазона будем называть внешней погрешностью, а погрешность внутри диапазона — внутренней. Приближая частоту точного сопряжения $f_{в}$ или $f_{н}$ к соответствующему концу диапазона, можно уменьшить внешнюю погрешность на этом конце диапазона, но внутренняя погрешность на этой части диапазона увеличится, и наоборот. При равенстве внешних и внутренних погрешностей общая погрешность сопряжения получается минимальной.

Частоты точного сопряжения, соответствующие минимальной общей погрешности, можно рассчитать по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} f_{в(Б)} &= f_{\text{ср}(Б)} + \frac{\sqrt{3}}{4} (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}); \\ f_{\text{ср}(Б)} &= \frac{f_{\text{мин}} + f_{\text{макс}}}{2}; \\ f_{н(Б)} &= f_{\text{ср}(Б)} - \frac{\sqrt{3}}{4} (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}). \end{aligned} \right\} \quad (Б)$$

Для радиовещательных диапазонов частоты точного сопряжения по формуле (Б) приведены в табл. 1. О емкости сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$ будет сказано ниже.

В случае сопряжения по формуле (Б) при $n=3$ и $f_{п}=465$ кГц погрешность сопряжения следующая:

на коротковолновом обзорном диапазоне	$\Delta f \approx 12-15$ кГц;
на средневолновом диапазоне	$\Delta f \approx 6-8$ » ;
на длинноволновом диапазоне	$\Delta f \approx 3-4$ » ;

**Частоты точного сопряжения для радиовещательного диапазона
при сопряжении по формуле (Б)**

Диапа- зон	Частота, кГц				
	f_{\min}	$f_{\text{н(Б)}}$	$f_{\text{ср(Б)}}$	$f_{\text{в(Б)}}$	$f_{\text{макс}}$
ДВ	150	167	282	397	415
СВ	520	529	1 060	1 528	1 600
КВ	3 950	4 065	8 025	11 985	12 100

Допустимая погрешность сопряжения. Как уже рассматривалось при амплитудной модуляции, помимо основной частоты, радиосигнал содержит еще ряд боковых частот, расположенных симметрично относительно основной частоты и занимающих полосу частот

$$P_c = 2F_v. \quad (17)$$

Обычно при амплитудной модуляции $P_c = 10\text{—}12$ кГц. Усилитель высокой частоты приемника должен всю эту полосу частот пропустить полностью, иначе передача будет искажена. Для этого должно выполняться условие (2):

$$P_p \geq P_c. \quad (18)$$

Но этого мало. При отклонении кривой сопряжения от промежуточной частоты резонансная частота высокочастотных контуров не совпадает с частотой принимаемого сигнала. Вследствие этого боковые составляющие сигнала могут оказаться за границами полосы пропускания высокочастотных контуров. Чтобы этого не случилось, полоса пропускания контуров должна быть шире, а именно:

$$P_{p.n} \geq P_c + 2|\Delta f_\phi|, \quad (19)$$

где $P_{p.n}$ — необходимая полоса пропускания контуров УВЧ;

P_c — полоса принимаемого сигнала;

Δf_ϕ — фактическая погрешность сопряжения.

Если полоса пропускания контуров УВЧ задана, то из выражения (19) можно получить величину допустимой погрешности сопряжения:

$$|\Delta f_\phi| \leq \frac{1}{2} P_{p.\phi} - \frac{1}{2} P_c, \quad (20)$$

где Δf_ϕ — допустимая погрешность сопряжения;

$P_{p.\phi}$ — фактическая полоса пропускания высокочастотных контуров.

Подсчитаем по формуле (19) необходимую полосу пропускания контуров при сопряжении по формуле (Б) для стандартных радиовещательных диапазонов, полагая, что $P_c = 10$ кГц и $f_n = 465$ кГц:

на ДВ диапазоне $\Delta f_\phi \approx 4$ кГц и $P_{p.n} \geq 18$ кГц;
 » СВ » $\Delta f_\phi \approx 8$ кГц и $P_{p.n} \geq 26$ » ;
 » КВ » $\Delta f_\phi \approx 15$ кГц и $P_{p.n} \geq 40$ » .

Сравним необходимую полосу пропускания $P_{р.н}$ с фактической полосой пропускания $P_{р.ф}$. Полосу пропускания одиночного контура на уровне 0,7 (см. рис. 1) можно рассчитать по формуле

$$P = \frac{f_{рез}}{Q}, \quad (21)$$

где $f_{рез}$ — резонансная частота контура;
 Q — его добротность на этой частоте.

Из формулы видно, что полоса пропускания зависит от резонансной частоты контура. В пределах одного диапазона резонансная частота контура изменяется в n раз (n — перекрытие по частоте), добротность же контура в пределах одного диапазона обычно меняется незначительно. Поэтому на высокочастотном конце диапазона полоса пропускания будет примерно в n раз шире, чем на низкочастотном.

Пользуясь формулами (21) и (20), можно подсчитывать фактическую полосу пропускания $P_{р.ф}$ и по ней допустимую погрешность Δf_d на концах диапазона и на средней частоте $f_{ср}$ и сравнить с необходимой полосой пропускания $P_{р.н}$ и фактической погрешностью $\Delta f_{ф}$ (см. табл. 2).

Таблица 2

Полоса пропускания контуров высокой частоты
и допустимая погрешность сопряжения

Диапазон	Фактическая погрешность сопряжения $\Delta f_{ф}$ при сопряжении по формуле (Б), кГц	Необходимая полоса пропускания $P_{р.н}$ при сопряжении по формуле (Б), кГц	Добротность катушки, Q	Часть поддиапазона	Фактическая полоса пропускания $P_{р.ф}$, кГц	Допустимая погрешность сопряжения Δf_d , кГц
ДВ	4	18	12 {	ВЧ конец Середина НЧ конец	42 28 14	16 9 2
СВ	8	26	25 {	ВЧ конец Середина НЧ конец	60 40 20	25 15 5
КВ	15	40	100 {	ВЧ конец Середина НЧ конец	120 80 40	55 35 15

Приведенная в таблице фактическая полоса пропускания $P_{р.ф}$ рассчитана для одиночного контура на уровне 0,7. При двух контурах полоса пропускания будет уже, но если измерять ее не на уровне 0,7, а на уровне 0,5, как принято при определении полосы пропускания нескольких контуров, то получатся примерно эти же

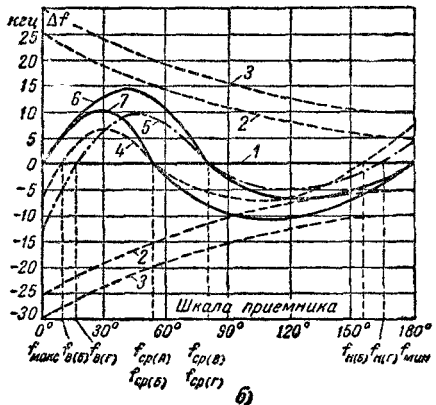
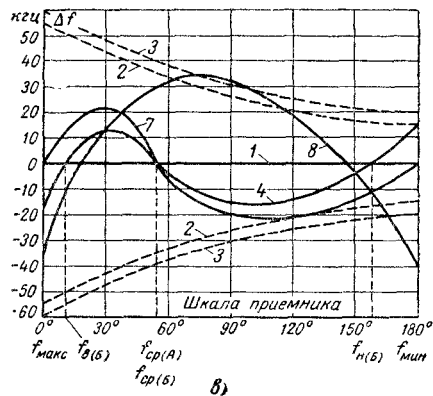
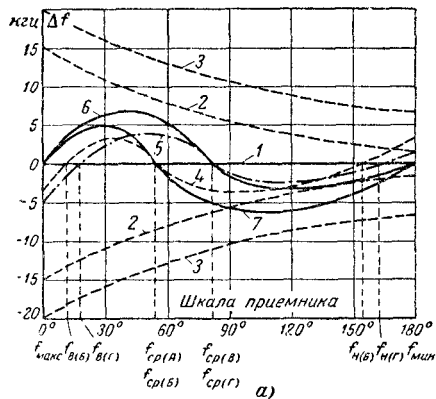


Рис. 10. Формулы сопряжения и полосы пропускания.

а — сопряжение на длинноволновом диапазоне; б — сопряжение на средневолновом диапазоне; в — сопряжение на коротковолновом диапазоне (1 — линия нулевого отклонения; 2 — граница допустимой погрешности сопряжения; 3 — граница полосы пропускания; 4 — сопряжение по формуле (Б); 5 — сопряжение по формуле (Г); 6 — сопряжение по формуле (В); 7 — сопряжение по формуле (А); 8 — сопряжение в двух точках по формуле (15) с помощью одного сопрягающего конденсатора $C_{\text{нар}}$).

величины. Из таблицы видно, что допустимая погрешность по диапазону изменяется еще больше, чем полоса пропускания входных контуров. Если полоса пропускания изменяется в 3 раза, то допустимая погрешность на длинноволновом диапазоне изменяется в 8 раз, на средневолновом — в 5 раз и на коротковолновом — примерно в 4 раза.

Отсюда можно сделать вывод, что необязательно добиваться равенства погрешностей сопряжения на высокочастотной и низкочастотной частях диапазона. На высокочастотной части диапазона погрешность может быть гораздо больше, но благодаря этому можно уменьшить погрешность на низкочастотной части диапазона.

Сопряжение по формуле (В). Предположим, что осуществлено точное сопряжение по формуле (А). Передвинем сопряжения в середине диапазона с частоты $f_{\text{ср}}(А)$ ближе к низкочастотному концу диапазона. При этом погрешность на низкочастотной части диапазона уменьшится из-за некоторого ее увеличения на высокочастотной части диапазона.

Новую частоту точного сопряжения в середине диапазона можно подобрать так, чтобы погрешность на высокочастотной и низкочастотной частях диапазона не превосходила допустимого отклонения (рис. 10, а и б, кривая б). Для этого необходимо, чтобы точное сопряжение было на следующих частотах:

$$\left. \begin{aligned} f_{\text{в(В)}} &= f_{\text{макс}}; \\ f_{\text{ср(В)}} &= \sqrt{f_{\text{макс}} f_{\text{мин}}}; \\ f_{\text{н(В)}} &= f_{\text{мин}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{В})$$

При этом

$$f_{\text{ср(В)}} = f_{\text{ср(А)}} > f_{\text{ср(В)}}. \quad (22)$$

При сопряжении по формуле (В) можно получить хорошее качество сопряжения по всему диапазону, хотя отклонение на высокочастотной части диапазона будет больше, чем при сопряжении по формуле (Б). Несмотря на простоту, сопряжение по формуле (В) дает вполне удовлетворительные результаты.

Для радиовещательных диапазонов частоты точного сопряжения по формуле (В) приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Частоты точного сопряжения для радиовещательного диапазона при сопряжении по формуле (В)

Диапа- зоны	Частота, кГц				
	$f_{\text{мин}}$	$f_{\text{н(В)}}$	$f_{\text{ср(В)}}$	$f_{\text{в(В)}}$	$f_{\text{макс}}$
ДВ	150	150	249	415	415
СВ	520	520	912	1 600	1 600
КВ	3 950	3 950	6 910	12 100	12 100

Сопряжение по формуле (Г). Еще лучшие результаты можно получить, если при точном сопряжении в середине диапазона на частоте $f_{\text{ср(В)}}$ точное сопряжение осуществить не на концах диапазона, а на частотах $f_{\text{в(Г)}}$ и $f_{\text{н(Г)}}$, отстоящих на некотором расстоянии от концов диапазона (аналогично тому, как это было при сопряжении по формуле (Б). Частоту $f_{\text{в(Г)}}$ рассчитаем так, чтобы внутренняя погрешность на высокочастотной части диапазона была несколько меньше внешней погрешности на этом конце, ибо допустимая погрешность на высокочастотном конце диапазона больше, чем в середине. Для этого должно быть

$$f_{\text{в(Г)}} < f_{\text{в(Б)}}.$$

Частота $f_{\text{н(Г)}}$ в свою очередь рассчитывается так, чтобы внутренняя погрешность на низкочастотной части диапазона была больше внешней погрешности на этом конце диапазона, так как допустимая погрешность на низкочастотном конце меньше, чем в середине диапазона. Для этого должно выполняться условие

$$f_{\text{н(Г)}} < f_{\text{н(Б)}}.$$

Таким образом, все три частоты точного сопряжения по формуле (Г) оказываются ближе к низкочастотному концу диапазона, чем соответствующие частоты при сопряжении по формуле (Б) (рис. 10, кривые 4 и 5). При этом кривая сопряжения проходит достаточно далеко от границ допустимой погрешности, и качество сопряжения наилучшее.

Частоты точного сопряжения $f_{\text{в(Г)}}$, $f_{\text{ср(Г)}}$ и $f_{\text{н(Г)}}$, учитывающие изменение полосы пропускания радиочастотных контуров по диапазону и позволяющие соответственно уменьшить по диапазону внутренние и внешние погрешности, можно рассчитать по формулам:

$$\left. \begin{aligned} f_{\text{в(Г)}} &= \frac{f_{\text{макс}}}{k'}; \\ f_{\text{ср(Г)}} &= \sqrt{f_{\text{макс}} f_{\text{мин}}}; \\ f_{\text{н(Г)}} &= k' f_{\text{мин}}, \end{aligned} \right\} \quad (Г)$$

где k' — коэффициент сопряжения, определяемый по номограмме на рис. 11.

Для радиовещательных диапазонов частоты точного сопряжения по формуле (Г) приведены в табл. 4.

Емкость сопрягающих конденсаторов. Рассмотрим, как перевести кривую сопряжения, рассчитанную по формуле (Б), в кривую сопряжения, рассчитанную по формуле (Г) (рис. 10, кривые 6 и 5).

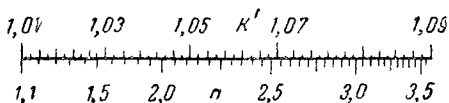


Рис. 11. Номограмма для определения вспомогательного коэффициента сопряжения k' .

n — перекрытие по частоте; k' — коэффициент сопряжения.

**Частоты точного сопряжения для радиовещательного диапазона
при сопряжении по формуле (Г)**

Диапа- зоны	Частота, кГц				
	$f_{\text{мин}}$	$f_{\text{н}}(\Gamma)$	$f_{\text{ср}}(\Gamma)$	$f_{\text{в}}(\Gamma)$	$f_{\text{макс}}$
ДВ	150	161	249	386	415
СВ	520	562	912	1 480	1 600
КВ	3 950	4 260	6 910	11 220	12 100

Чтобы опустить высокочастотный конец кривой *б*, надо увеличить емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$:

$$C_{\text{пар}}(\Gamma) > C_{\text{пар}}(B),$$

где $C_{\text{пар}}(B)$ — емкость сопрягающего конденсатора при сопряжении по формуле (В);

$C_{\text{пар}}(\Gamma)$ — емкость сопрягающего конденсатора при сопряжении по формуле (Г).

Чтобы поднять низкочастотный конец кривой сопряжения *б* и осуществить точное сопряжение не на конце диапазона, а на частоте $f_{\text{н}}(\Gamma)$, необходимо уменьшить емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$:

$$C_{\text{пос}}(\Gamma) < C_{\text{пос}}(B), \quad (23)$$

где $C_{\text{пос}}(B)$ — емкость сопрягающего конденсатора при сопряжении по формулам (В);

$C_{\text{пос}}(\Gamma)$ — емкость сопрягающего конденсатора при сопряжении по формулам (Г).

При сопряжении по формуле (Г) емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ меньше, а емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ больше, чем при сопряжении по формуле (В).

Посмотрим теперь, как кривую сопряжения *1*, рассчитанную по формуле (Б), можно перевести в кривую сопряжения *2*, рассчитанную по формуле (Г) (рис. 12). Чтобы точку точного сопряжения в середине диапазона $f_{\text{ср}}(Б)$ передвинуть ближе к низкочастотному концу диапазона в точку $f_{\text{ср}}(\Gamma)$, надо, как известно, уменьшить индуктивность гетеродинного контура. Тогда, если емкость сопрягающих конденсаторов осталась прежней, новая кривая сопряжения пройдет выше старой кривой. На низкочастотном конце диапазона она пройдет выше кривой *1* по штриховой кривой *4*. Но нам нужно, чтобы она прошла ниже кривой *1* и пересекла линию промежуточной частоты в точке $f_{\text{н}}(\Gamma)$. Поэтому надо опустить низкочастотный конец кривой сопряжения, для чего придется увеличить емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$:

$$C_{\text{пос}}(\Gamma) > C_{\text{пос}}(Б). \quad (24)$$

На высокочастотном конце диапазона новая кривая сопряжения тоже пройдет выше кривой 1 (штриховая кривая 4). Чтобы она прошла ниже кривой 1 и пересекла линию промежуточной частоты в точке $f_{B(\Gamma)}$, необходимо увеличить емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$:

$$C_{\text{пар}(\Gamma)} > C_{\text{пар}(\text{Б})}.$$

Таким образом, при сопряжении по формуле (Г) емкость сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$ получается больше, чем при

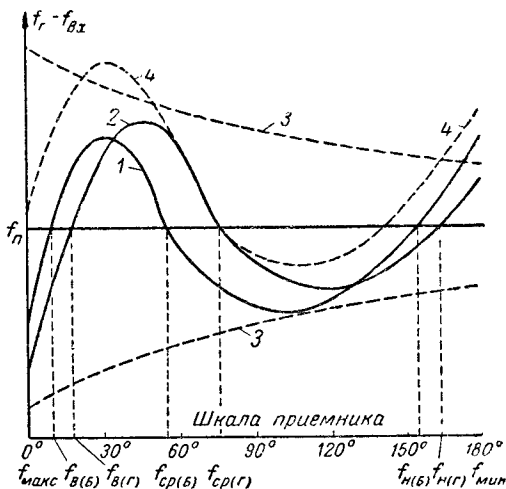


Рис. 12. Перевод сопряжения по формуле (Б) в сопряжение по формуле (Г).

1 — сопряжение по формуле (Б); 2 — сопряжение по формуле (Г); 3 — граница допустимой погрешности сопряжения, 4 — форма кривой сопряжения после уменьшения индуктивности катушки гетеродинного контура и при точном сопряжении на частоте $f_{C(\Gamma)}$.

сопряжении по формуле (Б). Из неравенств (23) и (24) следует, что

$$C_{\text{пос}(\text{Б})} > C_{\text{пос}(\Gamma)} > C_{\text{пос}(\text{Б})}. \quad (25)$$

Емкость сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$, необходимую для сопряжения по формулам (Б), можно рассчитать по номограммам, приведенным в «Справочнике радиолюбителя», под общей редакцией А. А. Куликовского, Госэнергоиздат, 1955. Емкость сопрягающих конденсаторов, необходимую для сопряжения по формулам (Г), можно рассчитать по номограммам и формулам, имеющимся в «Справочнике радиолюбителя», под общей редакцией А. А. Куликовского, Госэнергоиздат, 1958. Емкость сопрягающих конденсаторов, необходимую для сопряжения по формулам (Б), можно рассчитать

по номограммам, предложенным А. А. Савельевым («Радиотехника», 1952, № 3). Эти же номограммы имеются в книге Н. В. Боброва «Радиоприемные устройства», Госэнергоиздат, 1958.

В настоящей брошюре номограммы и формулы для расчета сопрягающих конденсаторов не приводятся, но в следующей главе подробно описывается методика подбора сопрягающих конденсаторов опытным путем, пригодная для любой формулы сопряжения.

В табл. 5 указана емкость сопрягающих конденсаторов для радиовещательных диапазонов, промежуточной частоты 465 кГц и стандартного блока конденсаторов переменной емкости (15—500 пФ). При пользовании таблицей надо иметь в виду, что емкость сопрягающих конденсаторов зависит не только от промежуточной частоты, диапазона и формулы сопряжения. Она зависит также от емкости конденсаторов блока настройки, начальной емкости контура, емкости монтажа, собственной емкости катушек и т. п. Поэтому в реальных конструкциях емкость сопрягающих конденсаторов может отличаться от указанной в табл. 5. Так, например, в транзисторных приемниках при блоке конденсаторов переменной емкости 8—240 пФ емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ почти в 2 раза меньше указанной в табл. 5. Емкость сопрягающих конденсаторов зависит также от схемы их включения. В табл. 5 предполагается схема включения конденсаторов, показанная на рис. 5, а. Емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$, кроме того, зависит от емкости подключенного параллельно ему подстроечного конденсатора (для табл. 5 емкость подстроечного конденсатора изменяется в пределах от 5 до 25 пФ).

Таблица 5

Емкость сопрягающих конденсаторов

Диапазоны	Емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$, пФ , при сопряжении по формулам			Емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$, пФ , при сопряжении по формулам		
	(Б)	(Г)	(В)	(Б)	(Г)	(В)
ДВ	40	68	35	200	240	260
СВ	15	20	10	500	560	600
КВ	—	—	—	4 000	4 300	4 500

Применение сопряжений различного вида. На рис. 10 приведены кривые сопряжения, границы полосы пропускания и границы допустимой погрешности для стандартных радиовещательных диапазонов и различных формул сопряжения. Из рисунка видно, что на СВ и ДВ диапазонах могут применяться только сопряжения по формулам (Б), (В) и (Г), причем выбор той или иной формулы определяется характером изменения полосы пропускания высокочастотных контуров. Если полоса пропускания расширяется к высокочастотному концу диапазона (как это бывает во многих случаях), то в простых конструкциях можно рекомендовать сопряжение по формуле (В) как наиболее простой. В сложных супергетеродинных приемниках с несколькими высокочастотными контурами или с обратной связью по высокой частоте лучше всего применять сопряжение по формуле (Г). Наконец, в тех случаях, когда характер изме-

нения полосы пропускания по диапазону неизвестен, лучше всего применить сопряжение по формуле (Б) как обеспечивающее минимальную погрешность, одинаковую по всему диапазону.

Если высокочастотный контур настраивается конденсатором с твердым диэлектриком, то добротность контура в низкочастотной части диапазона иногда уменьшается (из-за роста потерь в диэлектрике конденсатора) и это в какой-то мере компенсирует уменьшение резонансной частоты контура (21). В результате полоса пропускания такого контура изменяется не так сильно. Поэтому в транзисторных супергетеродинах, в которых для настройки контуров обычно применяют блок конденсаторов с твердым диэлектриком, лучше производить сопряжение по формуле (Б).

На коротковолновом обзорном диапазоне добротность высокочастотного контура также обычно уменьшается к низкочастотному концу (даже при настройке конденсатором с воздушным диэлектриком вследствие увеличения емкости контура). Поэтому на этом диапазоне лучше применять сопряжение по формуле (Б). Но так как на этом диапазоне полоса пропускания радиочастотных контуров шире и условия сопряжения гораздо легче, то можно с успехом применять и более простое сопряжение по формуле (А).

Следует, однако, иметь в виду, что на коротковолновых диапазонах характер изменения добротности высокочастотного контура по диапазону (следовательно, и полосы пропускания) зависит от материала сердечника и каркаса катушки. При плохом качестве сердечника или каркаса добротность контура может снижаться к высокочастотному концу диапазона (вследствие увеличения потерь в сердечнике и каркасе). Это особенно заметно на частотах более 12—15 Мгц.

Так как с уменьшением перекрытия по частоте погрешность сопряжения уменьшается, то на полурастянутых коротковолновых диапазонах (при $n < 2$) сопряжение в двух точках [по формуле (15)] с помощью одного сопрягающего конденсатора дает вполне удовлетворительные результаты. Отклонение в этом случае не превосходит допустимой величины, если добротность радиочастотного контура не слишком велика ($Q < 180$). На растянутых коротковолновых диапазонах (при $n < 1,2$) можно применять сопряжение только в середине диапазона без сопрягающих конденсаторов. Погрешность сопряжения на концах диапазона можно подсчитать по формуле (12). Если $n = 1,1$ и $f_n = 465$ кГц, то $\Delta f \approx 20$ кГц. При $P_p = 50$ кГц погрешность не превосходит допустимой.

При еще меньшем перекрытии входной контур можно выполнить с фиксированной настройкой на среднюю частоту растянутого поддиапазона.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

МЕТОДИКА СОПРЯЖЕНИЯ

ДВА МЕТОДА СОПРЯЖЕНИЯ

Как уже указывалось, при сопряжении в трех точках с помощью двух сопрягающих конденсаторов между частотами точного сопряжения f_v , f_{cp} , f_n , емкостью сопрягающих конденсаторов $C_{пос}$

и $C_{\text{пар}}$ и индуктивность гетеродинного контура $L_{\text{г}}$ существует строгая зависимость. Какие же из этих величин принять за основу?

Можно принять за основу частоты точного сопряжения $f_{\text{в}}$, $f_{\text{ср}}$ и $f_{\text{п}}$. Эти частоты легко рассчитать и настроить на них контуры с помощью сигнал-генератора. Такой способ сопряжения в дальнейшем будем называть методом трех частот. Остальные три величины: емкость сопрягающих конденсаторов $C_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пар}}$, а также индуктивность гетеродинного контура $L_{\text{г}}$ — подбирают методом последовательного приближения, и никаких особых требований к выбору их первоначальной величины не предъявляют. В этом достоинство сопряжения по методу трех частот. Но, как будет показано ниже, он требует предварительной настройки высокочастотных контуров, а это несколько усложняет сопряжение.

Если принять за основу емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ и две частоты точного сопряжения $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{п}}$, то получим второй способ сопряжения, который в дальнейшем будем называть методом двух частот. Емкость конденсатора $C_{\text{пар}}$ и индуктивность гетеродинного контура $L_{\text{г}}$ при этом способе подбирают методом последовательного приближения, и никаких особых требований к их исходным величинам не предъявляется. Однако емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ должна быть известна заранее, и в схеме гетеродина должен стоять конденсатор этой емкости с допуском не более 3—5%, иначе сопряжение на третьей частоте $f_{\text{ср}}$ не получится. Это ограничивает применение сопряжения по методу двух частот. Но, как будет показано ниже, при сопряжении по методу двух частот гетеродинные контуры можно настраивать независимо от входных. Это позволяет высокочастотные контуры настраивать по гетеродинным контурам, что значительно упрощает сопряжение.

Включение приборов. Перед сопряжением необходимо проверить и наладить усилитель низкой частоты, настроить усилитель промежуточной частоты и антенный фильтр, проверить гетеродин и смеситель. Регулятор громкости усилителя низкой частоты должен быть в положении максимальной громкости, а автоматическая регулировка усиления отключена. Регулятор полосы пропускания должен быть в положении «Узкая полоса».

Сигнал-генератор подключают к входу приемника через эквивалент антенны: на длинноволновом и средневолновом диапазонах этот конденсатор емкости 200 пф , а на коротковолновом диапазоне непроволочное сопротивление величиной 300 ом . Напряжение на выходе сигнал-генератора устанавливают таким, чтобы выходной каскад приемника не перегружался [см. формулу (3)]. Модуляция сигнал-генератора должна быть на уровне 30—80%. На выход приемника, параллельно звуковой катушке громкоговорителя включают индикатор выхода — вольтметр переменного напряжения со шкалой 3—10 в , например тестер ТТ-1.

Если в приемнике применена последовательная схема включения входных или гетеродинных контуров, т. е. катушка коротковолнового диапазона служит частью катушки средневолнового, а та в свою очередь — частью катушки длинноволнового диапазона (рис. 13, а), то настройку таких контуров следует начинать с коротковолнового диапазона, потом настраивать средневолновый и в последнюю очередь длинноволновый диапазон. При обычной схеме включения катушек (рис. 13, б), когда одна не является продолжением другой, порядок настройки поддиапазонов безразличен.

При настройке может оказаться, что наибольшее напряжение на выходе приемника получается при крайнем положении подстроечного конденсатора или сердечника. В первом случае придется изменить емкость постоянного конденсатора, включенного параллельно подстроечному, а во втором — изменить число витков катушки так, чтобы максимум напряжения на выходе приемника достигался примерно в среднем положении подстроечного сердечника.

При настройке гетеродинных контуров на коротковолновом диапазоне может оказаться, что максимальное напряжение на выходе приемника достигается при двух положениях органа настройки. Одно из этих положений соответствует правильной настройке, а другое зеркальной. Обычно правильной настройке соответствует положение, при котором частота гетеродина больше: $f_{г} - f_{с} = f_{п}$. Если контур гетеродина настраивается ручкой настройки приемника, т. е. конденсатором переменной емкости, то правильная настройка будет при меньшей емкости конденсатора настройки. При подстройке гетеродинного контура подстроечным конденсатором правильной настройке соответствует меньшая емкость подстроечного конденсатора. При подстройке сердечником катушки — более вывернутое положение сердечника. Если же при сопряжении на коротковолновом диапазоне частота гетеродина выбрана меньше частоты сигнала ($f_{с} - f_{г} = f_{п}$), то, наоборот, правильная настройка будет при большей емкости конденсатора переменной емкости, при большей емкости подстроечного конденсатора, при более ввернутом положении сердечника.

Выравнивание емкостей конденсаторов блока настройки. Перед сопряжением полезно выравнивать емкость секций блока конденсаторов переменной емкости. Для этого провод, идущий от гетеродина к блоку конденсаторов настройки, перепаивают на вспомогательный переключатель *П* так, чтобы в схему гетеродина можно было включать любую секцию блока (рис. 14). Если блок настройки сдвоенный, то в качестве переключателя *П* можно использовать тумблер. Провода, идущие к переключателю, должны быть короткими.

Затем включают в приемнике коротковолновый диапазон. Сигнал-генератор подключают к управляющей сетке лампы смесителя. Блок конденсаторов настройки устанавливают в положение почти минимальной емкости так, чтобы первый разрезной сектор подвижных пластин вошел в неподвижные. Сигнал-генератор настраивают на такую частоту, чтобы на выходе приемника получить максимум напряжения. Затем с помощью переключателя *П* включают в схему гетеродина другие секции блока конденсаторов настройки.

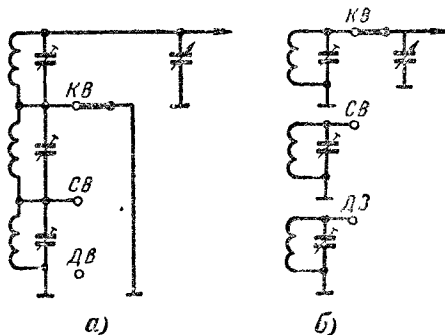


Рис. 13. Схемы включения контуров.

а — последовательная схема включения;
б — обычная схема включения.

Отгибая соответствующие секторы разрезных пластин, добиваются максимального показания индикатора на выходе приемника. Выходное напряжение сигнал-генератора должно быть таким, чтобы выходной каскад приемника не перегружался.

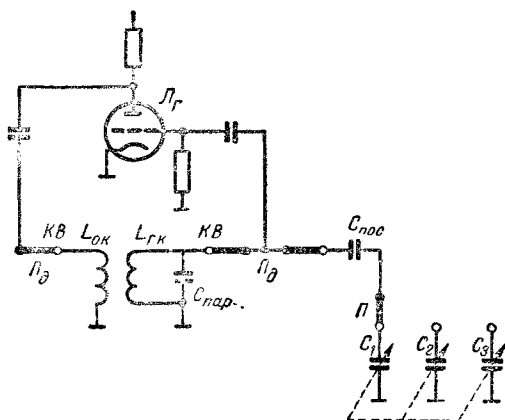


Рис. 14. Схема для выравнивания емкостей секций блока конденсаторов настройке.

Уравняв емкости секций блока конденсаторов на первом разрезном секторе, поворачивают подвижные пластины и вводят в неподвижные следующий сектор разрезных пластин. Сигнал-генератор по индикатору выхода приемника перестраивают на новую частоту, и, так же как в предыдущем случае, отгибанием секторов разрезных пластин выравнивают емкости конденсаторов на втором секторе. Таким же способом выравнивают емкости и на остальных секторах разрезных пластин.

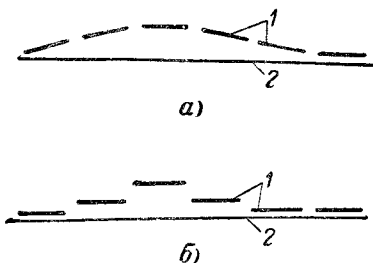


Рис. 15. Отгиб разрезных секторов.

а — правильно; б — неправильно
(1 — разрезные секторы; 2 — пластина статора).

Заметим, что края отогнутых секторов должны образовывать плавную линию (рис. 15, а), а не ступенчатую (рис. 15, б). Для этого регулируемый сектор отгибают так, чтобы его край совпал с краем предыдущего, уже отрегулированного сектора. Емкость, таким образом, выравнивают отгибанием второго края сектора. Если при отгибании пластин одной из секций окажется, что они настолько близко подходят к неподвижным пластинам, что замыкаются с ними, то надо вернуться к секции, принятой за основу, и соответствующий сектор

ее подвижной пластины отогнуть подальше от неподвижных пластин. После этого необходимо снова провести регулировку емкости во всех секциях блока.

СОПРЯЖЕНИЕ ПО МЕТОДУ ТРЕХ ЧАСТОТ

Как уже упоминалось, при сопряжении по методу трех частот за основу берут три частоты точного сопряжения, а остальные величины ($C_{\text{пос}}$, $C_{\text{пар}}$ и L_r) подбирают при настройке методом последовательного приближения. Так как сопрягающий конденсатор $C_{\text{пар}}$ наибольшее влияние оказывает на высокочастотном конце диапазона, то с его помощью и настраивают этот конец диапазона. При помощи конденсатора $C_{\text{пос}}$ настраивают низкочастотный конец диапазона. Наконец, изменяя индуктивность гетеродинного контура при помощи подстроечного сердечника, добиваются точного сопряжения в середине диапазона.

Так как одно и то же перекрытие по частоте может быть получено при различных значениях сопрягающих конденсаторов, то положение частот точного сопряжения на шкале приемника приходится устанавливать по высокочастотным контурам, которые должны быть предварительно настроены на нужный диапазон. Только в этом случае емкость сопрягающих конденсаторов и индуктивность гетеродинного контура получатся необходимой величины.

Высокочастотный контур можно настроить разными способами. Лучше всего сделать это с помощью вспомогательного детектора.

Вспомогательный детектор. Схема включения детектора показана на рис. 16. Вход детектора через переключатель поддиапазонов соединяют с контуром высокой частоты, а выход — через вспомогательный переключатель Π с усилителем низкой частоты приемника. Если в приемнике несколько высокочастотных контуров, то детектор подключают к последнему из них, т. е. к контуру, включенному в цепь управляющей сетки лампы смесителя. В дальнейшем этот контур будем называть основным. При настройке он принимается за основу и по нему сопрягают гетеродинные контуры. Настройка остальных высокочастотных контуров будет рассмотрена ниже.

Вспомогательный детектор подключают непосредственно к переключателю поддиапазонов или к подвижным пластинам конденсатора настройки основного высокочастотного контура. Провода, идущие от вспомогательного детектора к переключателю Π , должны быть экранированы. Если высокочастотный контур в приемнике один, то сигнал-генератор подключают к входу приемника через эквивалент антенны. При наличии УВЧ сигнал-генератор через конденсатор емкостью 0,01 мкф подключают к управляющей сетке лампы последнего каскада УВЧ.

При помощи переключателя Π усилитель низкой частоты приемника соединяют либо с детектором приемника, либо с вспомогательным детектором. В первом случае отклонение стрелки индикатора выхода соответствует напряжению на контуре промежуточной частоты, во втором случае — напряжению на основном высокочастотном контуре. Благодаря этому можно одновременно вести настройку гетеродинных контуров и контуров высокой частоты, что значительно облегчает процесс сопряжения.

Вспомогательный детектор вносит в высокочастотный контур некоторую дополнительную емкость (7—15 пф). Поэтому после от-

ключения детектора контур нуждается в небольшой подстройке. Как это сделать, будет сказано ниже.

Вспомогательный детектор должен иметь достаточно большое обратное сопротивление (не менее 1 Мом), иначе из-за его шунтирующего действия резонансная кривая контура будет притуплена.

В некоторых приемниках низкочастотный конец катушки контуров высокой частоты соединяется с шасси через конденсатор схемы АРУ. Этот конденсатор на время настройки надо замкнуть, чтобы пропустить постоянную составляющую тока, возникающую при работе вспомогательного детектора.

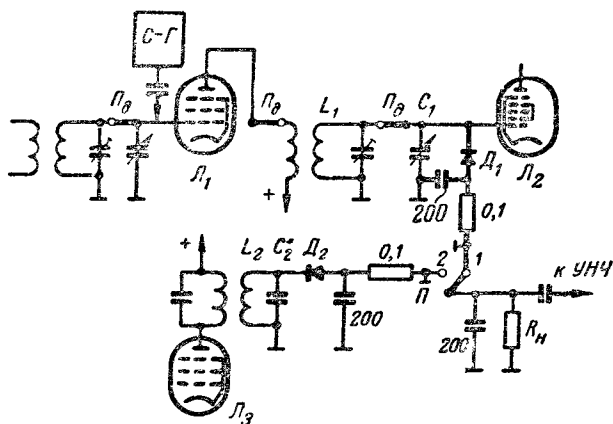


Рис. 16. Включение вспомогательного детектора.

L_1 — лампа последнего каскада УВЧ; L_2 — лампа смесителя; L_3 — лампа последнего каскада УПЧ; $L_1 C_1$ — сеточный контур смесителя (или входной контур, если нет УВЧ); $L_2 C_2$ — детекторный контур УПЧ; D_1 — вспомогательный детектор; D_2 — детектор приемника; Π — вспомогательный переключатель; $C-Г$ — сигнал-генератор.

Настройка основных высокочастотных контуров. Вначале устанавливают границы диапазона. Переключателем Π на вход УНЧ приемника подключают вспомогательный детектор. Блок конденсаторов переменной емкости устанавливают в положение максимальной емкости. Частота сигнал-генератора должна соответствовать минимальной частоте диапазона $f_{\text{мин}}$. Подстроечным сердечником по индикатору выхода настраивают на эту частоту основной контур.

После этого блок конденсаторов настройки переводят в положение минимальной емкости, а частоту сигнал-генератора устанавливают равной максимальной частоте диапазона $f_{\text{макс}}$. Подстроечным конденсатором настраивают основной контур на эту частоту (переключатель Π в положение I).

Настройку основного высокочастотного контура на крайние частоты диапазона $f_{\text{мин}}$ и $f_{\text{макс}}$ повторяют несколько раз. Таким же

способом настраивают основные высокочастотные контуры остальных диапазонов приемника.

Настройка контуров гетеродина. Наметив граничные частоты $f_{\text{мин}}$ и $f_{\text{макс}}$, по выбранной формуле сопряжения рассчитывают частоты точного сопряжения f_n , $f_{\text{ср}}$ и f_v . Если емкость сопрягающих конденсаторов приблизительно известна (из описания или определена расчетом), то их следует поставить в контур гетеродина; процесс настройки гетеродинных контуров при этом несколько упрощается. Если емкость сопрягающих конденсаторов неизвестна, то настройку контуров гетеродина начинают без них.

Настройка на среднюю частоту диапазона. Переключатель P ставят в положение 1 (на вход УНЧ подключается вспомогательный детектор). На сигнал-генераторе устанавливают частоту точного сопряжения для середины диапазона, подсчитанную по выбранной формуле сопряжения. Вращая ручку настройки приемника, по индикатору выхода настраивают основной высокочастотный контур на эту частоту.

Затем с помощью переключателя P к входу УНЧ подключают детектор приемника, и подстроечным сердечником по максимальному показанию индикатора выхода настраивают гетеродинный контур, который окажется настроенным на частоту $f_r = f_{\text{ср}} + f_n$.

Настройку основного радиочастотного контура на низкочастотном конце диапазона производят аналогичным способом.

Настройку же гетеродинного контура (переключатель P в положении 2) осуществляют подбором сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ до получения максимальных показаний индикатора выхода приемника.

Так же поступают и при настройке основного контура на высокочастотном конце диапазона, но настройку гетеродинного контура производят подбором емкости конденсатора $C_{\text{пар}}$, причем подстроечный конденсатор гетеродинного контура должен находиться в среднем положении.

Уже при этой первой настройке будет найдена приблизительно нужная емкость сопрягающих конденсаторов.

Уточняют настройку в том же порядке. Сначала на частоте $f_{\text{ср}}$ подстраивают гетеродинный контур путем изменения его индуктивности. Затем на частоте f_n подбирают емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$, а на частоте f_v — емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ (подстроечным конденсатором).

Настройку гетеродинного контура уточняют несколько раз, пока не перестанет изменяться емкость сопрягающих конденсаторов и индуктивность катушки. Чем ближе первоначальная емкость сопрягающих конденсаторов к необходимой, тем скорей будет закончен процесс уточнения настройки. Емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$ можно считать подобранной, если при ее изменении в обе стороны на 3—5% напряжение на выходе приемника будет уменьшаться.

Для настройки остальных высокочастотных контуров сигнал-генератор через эквивалент антенны подключают к входу приемника. На сигнал-генераторе устанавливают частоту точного сопряжения в низкочастотном конце диапазона. Приемник настраивают на эту частоту ручкой настройки. Затем подстроечным сердечником настраивают на нее входной контур и другие ненастроенные высокочастотные контуры данного диапазона.

Затем сигнал-генератор и приемник перестраивают на частоту

точного сопряжения в высокочастотном конце диапазона и настраивают на нее контуры подстроечным конденсатором.

Настройку контуров на концах диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечных конденсаторов и сердечников (переключатель Π в положении 2).

Проверка сопряжения. Для этого находят отклонение кривой сопряжения от промежуточной частоты для 15—20 точек данного диапазона (через каждые 10° шкалы) и строят по этим точкам кривую сопряжения. По горизонтальной оси откладывают градусы шкалы и соответствующие им частоты. По вертикальной оси откладывают разность между настройкой приемника и настройкой высокочастотных контуров для данной точки шкалы. Делается это так. Сигнал-генератор включают на вход приемника через эквивалент антенны. Переключатель Π устанавливают в положение 2. Вращая ручку настройки приемника, устанавливают указатель настройки на определенное деление шкалы и сигнал-генератор подстраивают на эту частоту по максимальному отклонению стрелки индикатора выхода приемника.

По шкале сигнал-генератора определяют частоту f_c , на которую настроен приемник, и отмечают ее на горизонтальной оси против соответствующего градуса шкалы.

Затем переключатель Π переводят в положение 1. Изменяя частоту сигнал-генератора, по индикатору выхода приемника находят резонансную частоту высокочастотных контуров $f_{вх}$ для данной точки шкалы. Разность между найденными частотами $f_c - f_{вх}$ откладывают в зависимости от ее знака вверх или вниз от линии промежуточной частоты. Разность эта равна погрешности сопряжения:

$$\Delta f = f_c - f_{вх} - f_{п}.$$

Полученные точки соединяют плавной кривой. Так как разность $f_c - f_{вх}$ невелика, то ее надо отсчитывать непосредственно по нониусу ручки настройки сигнал-генератора, определив предварительно цену его деления в данной точке шкалы.

Далее на этом же графике наносят границы допустимой погрешности сопряжения. Для этого в 5—6 точках шкалы (через каждые 30°) определяют полосу пропускания высокочастотных контуров на уровне 0,5. Делается это следующим образом. Сигнал-генератор настраивается на резонансную частоту входных контуров (переключатель Π в положении 1). Затем увеличивают выходное напряжение сигнал-генератора в 2 раза и изменяют его частоту так, чтобы показания индикатора выхода приемника уменьшились до прежнего уровня. Разность между полученной частотой и резонансной частотой входного контура равна половине полосы пропускания контуров

высокой частоты: $\frac{1}{2} P_p$. Если высокочастотных контуров на данном диапазоне несколько, то таким образом будет измерена полоса пропускания всего высокочастотного тракта.

Так как при амплитудной модуляции передается полоса частот $P_c \approx 10 \text{ кГц}$, то, отложив вверх и вниз от промежуточной частоты величину

$$\Delta f_d = \frac{1}{2} P_p - 5 \text{ кГц},$$

и соединив полученные точки плавной кривой, получим границы допустимой погрешности сопряжения [см. формулу (20)].

Если погрешность сопряжения не выходит за границы допустимой погрешности, то качество сопряжения хорошее. При плохом сопряжении возможны следующие случаи.

1. На одном конце диапазона внешняя погрешность выходит за допустимые границы, а внутренняя погрешность не доходит до них. В этом случае частоту точного сопряжения на данном конце диапазона (f_n или f_v) следует изменить, передвинув ближе к концу диапазона, и соответствующим конденсатором ($C_{\text{пос}}$ или $C_{\text{пар}}$) настроить гетеродинный контур на новую частоту точного сопряжения.

2. Внутренняя погрешность на данной части диапазона выходит за допустимые границы, а внешняя погрешность не доходит до них. В этом случае частоту точного сопряжения на данном конце диапазона (f_v или f_n) следует изменить, передвинув дальше от конца диапазона, и соответствующим конденсатором ($C_{\text{пар}}$ или $C_{\text{пос}}$) настроить гетеродинный контур заново на новую частоту точного сопряжения.

3. Внешняя и внутренняя погрешность на одной части диапазона выходит за допустимые границы, а на другой части не доходит до них. В этом случае частоту точного сопряжения в середине диапазона $f_{\text{ср}}$ следует изменить, передвинув ее ближе к той части диапазона, на которой погрешность выходит за допустимые границы, и подстроечным сердечником настроить гетеродинный контур заново на новую частоту точного сопряжения.

4. Погрешность сопряжения на обеих частях диапазона выходит за допустимые границы. В этом случае необходимо расширить полосу пропускания высокочастотных контуров. Для этого следует уменьшить их добротность путем шунтирования сопротивлениями 20—100 ком.

После настройки входных и гетеродинных контуров на шкале приемника отмечают полученные частоты точного сопряжения f_v , $f_{\text{ср}}$ и f_n . Эти отметки пригодятся в дальнейшем при последующих подстройках приемника.

Полученные таким экспериментальным путем частоты точного сопряжения могут отличаться от частот, рассчитанных по формулам сопряжения, но они лучше всего будут соответствовать фактическому изменению полосы пропускания контуров данного приемника. Это обеспечит наилучшее качество сопряжения, что особенно важно в сложных приемниках с несколькими высокочастотными контурами.

Подстройка основных высокочастотных контуров. После настройки всех контуров ВЧ блока и проверки качества сопряжения восстанавливают соединение УНЧ с детекторным каскадом приемника. Вспомогательный детектор вносит в контур некоторую дополнительную емкость (несколько пикофарад), и потерю этой емкости надо скомпенсировать. Для этого на шкале сигнал-генератора устанавливают частоту точного сопряжения для высокочастотного конца диапазона и ручкой настройки настраивают приемник на эту частоту. Затем по индикатору выхода подстроечным конденсатором настраивают на эту частоту контур, к которому был подключен вспомогательный детектор. То же самое проделывают и на всех остальных диапазонах.

СОПРЯЖЕНИЕ ПО МЕТОДУ ДВУХ ЧАСТОТ

При сопряжении по методу двух частот за основу берется частота точного сопряжения f_v и по ней подбирается емкость сопрягающего конденсатора $C_{пар}$. Вторая частота точного сопряжения выбирается на низкочастотном конце диапазона. На частоту f_n гетеродинный контур настраивают подстроечным сердечником катушки индуктивности. Если емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ выбрана правильно, то в середине диапазона сопряжение получится достаточно точным.

Как же заранее определить величину конденсатора $C_{пос}$? При расчете этой емкости приходится учитывать некоторые не вполне определенные величины, например емкость монтажа и собственную емкость катушек. Поэтому точность расчета не превосходит 5—10%. При применении конденсаторов с допуском по емкости 5% суммарная неточность может превзойти 10% и кривая сопряжения выйдет за допустимые пределы.

По тем же причинам еще меньшая точность получается при использовании типовых значений сопрягающих конденсаторов.

Таким образом, сопряжение по методу двух частот применимо только при повторении какой-либо хорошо разработанной и проверенной конструкции. Следует помнить, что емкость сопрягающих конденсаторов зависит от схемы их включения в контур гетеродина, от промежуточной частоты, границ диапазона, частот точного сопряжения (формулы сопряжения), данных конденсатора настройки, емкости монтажа, собственной емкости катушек и входной емкости лампы гетеродина. Поэтому нельзя делать никаких отступлений от описания конструкции. Если же отступления по тем или иным причинам сделаны, то нельзя применять сопряжение по методу двух частот, а следует применить сопряжение по методу трех частот.

Из предыдущего известно, что если задаться емкостью сопрягающего конденсатора $C_{пос}$, то емкость сопрягающего конденсатора $C_{пар}$ при данном перекрытии будет строго определенной. Это позволяет при сопряжении по методу двух частот настраивать гетеродинные контуры, т. е. подбирать емкость сопрягающего конденсатора $C_{пар}$ и индуктивность L_r независимо от высокочастотных контуров. А высокочастотные контуры настраивать по гетеродинным. Это значительно упрощает сопряжение.

Возможны два варианта сопряжения по методу двух частот.

Первый вариант применяется, когда известно положение частот точного сопряжения f_n и f_v на шкале приемника, например, при настройке приемников заводского изготовления, при сборке приемников из комплекта заводских деталей, а также при подстройке самодельных приемников, ранее настроенных по методу трех частот.

Этот вариант применяется и при сопряжении по формуле (В), так как положение частот точного сопряжения в этом случае всегда известно — они совпадают с крайними, граничными частотами диапазона ($f_{мин}$ и $f_{макс}$).

На шкалах заводского изготовления для частот точного сопряжения на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона ставятся риски или какие-либо другие знаки. Эти риски используют при настройках приемника в радиоремонтных мастерских.

Настройка контуров по первому варианту метода двух частот заключается в следующем.

Вначале производят сопряжение на низкочастотном конце диапазона. На вход приемника от сигнал-генератора подают частоту точного сопряжения на низкочастотном конце диапазона. Ручкой настройки приемника указатель настройки ставят на соответствующую риску шкалы (при сопряжении по формуле (В) конденсаторы блока настройки должны быть в положении максимальной емкости). Регулировкой положения подстроечного сердечника катушки гетеродинного контура добиваются максимальных показаний индикатора выхода приемника.

Затем подстроечными сердечниками по индикатору выхода подстраивают высокочастотные контуры, уменьшая по мере надобности напряжение на выходе сигнал-генератора.

Теперь переходят к сопряжению на высокочастотном конце диапазона. На вход приемника от сигнал-генератора подают частоту точного сопряжения на высокочастотном конце диапазона. Указатель настройки приемника совмещают с соответствующей риской шкалы (при сопряжении по формуле (В) емкость конденсаторов блока настройки должна быть минимальной). Затем регулировкой подстроечного конденсатора гетеродинного контура добиваются максимальных показаний индикатора на выходе приемника.

Затем подстроечными конденсаторами по индикатору выхода настраивают на частоту точного сопряжения высокочастотные контуры.

Уточнение настройки. Настройку контуров на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечных конденсаторов и сердечников.

При сопряжении по формулам (Б) и (Г) положение частот точного сопряжения на шкале приемника зависит не только от формы пластин конденсаторов настройки, но также от емкости монтажа и емкости сопрягающих конденсаторов. Даже в одном и том же приемнике на разных диапазонах частоты точного сопряжения оказываются в различных точках шкалы. На средневолновом диапазоне, например, ближе к концам шкалы, а на длинноволновом — дальше от концов.

При форме пластин применяющихся в настоящее время конденсаторов настройки частоты точного сопряжения, рассчитанные по формуле (Б), на средневолновом диапазоне получаются примерно в 5° от высокочастотного конца и в 30° от низкочастотного конца шкалы, на длинноволновом диапазоне в 10° от высокочастотного и в 45° от низкочастотного конца. Частота точного сопряжения $f_{\text{ср(Б)}}$ получается в $50\text{--}60^\circ$ от высокочастотного конца шкалы.

Частоты точного сопряжения, рассчитанные по формуле (Г), получаются на средневолновом диапазоне в 10° от высокочастотного и в 25° от низкочастотного конца; на длинноволновом диапазоне в 15° от высокочастотного и в 30° от низкочастотного конца; частота точного сопряжения $f_{\text{ср(Г)}}$ получается в $70\text{--}80^\circ$ от высокочастотного конца шкалы (вся шкала 180°).

Устанавливать положение частот точного сопряжения на шкале приемника приближенно не следует — это ухудшит качество сопряжения.

Второй вариант сопряжения по методу двух частот применяется в том случае, когда неизвестно положение частот точного сопряжения на шкале приемника. Но сами частоты точного сопряжения должны быть известны, или, по крайней мере, должна быть известна формула сопряжения, которой соответствует емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос.}}$.

Второй вариант сопряжения по методу двух частот начинается с *установки границ диапазона*. На вход приемника от сигнал-генератора подают минимальную частоту диапазона. Конденсаторы блока настройки приемника устанавливают в положение максимальной емкости. Перемещением подстроечного сердечника катушки гетеродинного контура добиваются максимальных показаний индикатора выхода приемника.

Затем конденсаторы блока настройки переводят в положение минимальной емкости. На вход приемника от сигнал-генератора подают максимальную частоту диапазона. Гетеродинный контур настраивают по индикатору выхода приемника подстроечным конденсатором.

Настройку гетеродинного контура на крайние частоты диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечного конденсатора и сердечника гетеродинного контура.

Теперь переходят к *сопряжению на низкочастотном конце диапазона*. От сигнал-генератора на вход приемника подают частоту точного сопряжения на низкочастотном конце поддиапазона. Ручкой настройки по максимальному показанию индикатора выхода настраивают приемник на эту частоту.

Затем подстроечным сердечником по индикатору выхода настраивают на частоту точного сопряжения высокочастотные контуры.

После этого переходят к *высокочастотному концу диапазона*. От сигнал-генератора на вход приемника подают частоту точного сопряжения $f_{\text{в}}$. Ручкой настройки приемник настраивают на эту частоту по максимальному показанию индикатора выхода.

Затем подстроечным конденсатором при том же положении ручки настройки приемника настраивают на частоту точного сопряжения $f_{\text{в}}$ контуры радиочастоты.

Настройку контуров на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечных конденсаторов и сердечников контуров радиочастоты.

Проверка сопряжения. После настройки контуров надо убедиться, что третья точка точного сопряжения в середине диапазона получилась на нужной частоте и в нужном месте шкалы. Если это действительно так получилось, то сопряжение проведено правильно и качество его хорошее.

Проверку производят следующим способом. На вход приемника от сигнал-генератора подают частоту, на которой хотят проверить качество сопряжения, и настраивают на нее приемник. Так как настройку приемника определяет контур гетеродина, то входной контур может оказаться расстроенным по отношению к частоте сигнал-генератора. Чтобы определить расстройку, к катушке входного контура подносят поочередно медный и ферритовый стержни (медный

стержень уменьшает индуктивность катушки, а ферритовый увеличивает). Если громкость сигнала в обоих случаях уменьшается, то на данной частоте имеется точное сопряжение.

Допустим, что громкость увеличивается при поднесении ферритового стержня, т. е. при уменьшении резонансной частоты входного контура. Следовательно, разность $f_r - f_{вх}$ при этом увеличивается и приближается к промежуточной частоте. Это значит, что кривая сопряжения располагается в данной точке шкалы ниже линии промежуточной частоты (рис. 17, точки a , a' и a''). В этом случае при нормальном ходе кривой сопряжения (в середине диапазона) точное сопряжение будет располагаться от точки a' ближе к высокочастотному концу диапазона, а при обратном ходе кривой сопряжения (на концах диапазона), наоборот, ближе к низкочастотному концу диапазона.

Если же громкость увеличивается при поднесении медного стержня, т. е. при увеличении резонансной частоты входного контура, то, следовательно, разность $f_r - f_{вх}$ при этом уменьшается и приближается к промежуточной частоте. Кривая сопряжения в этой точке располагается выше линии промежуточной частоты (рис. 17, точки b , b' и b''). При нормальном ходе кривой сопряжения (в середине диапазона) точка точного сопряжения будет располагаться от точки b' ближе к низкочастотному концу диапазона, а при обратном ходе кривой сопряжения (на концах диапазона), наоборот, ближе к высокочастотному концу диапазона.

Если при проверке сопряжения в середине поддиапазона окажется, что на одной частоте f_1 громкость сигнала увеличивается при поднесении к высокочастотному контуру медного стержня, а на другой частоте f_2 — ферритового, то частота точного сопряжения находится между частотами f_1 и f_2 . Сближая эти частоты, можно определить частоту точного сопряжения.

Если частота точного сопряжения в середине диапазона совпадает с расчетной частотой, то сопряжение проведено правильно. Отклонение частоты точного сопряжения от расчетной означает, что при сопряжении была допущена ошибка: неправильно выбрана емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ или неправильно выбраны частоты точного сопряжения.

Ошибки, связанные с неправильным выбором емкости сопрягающего конденсатора $C_{пос}$:

Если емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ больше необходимой для сопряжения по выбранной формуле сопряжения, то при настройке гетеродинного контура индуктивность катушки L_r получится *меньше*, чем нужно, а емкость сопрягающего конденсатора $C_{пар}$ *больше*. В результате точка точного сопряжения в середине

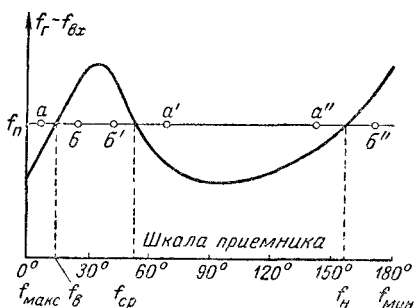


Рис. 17. Проверка сопряжения.

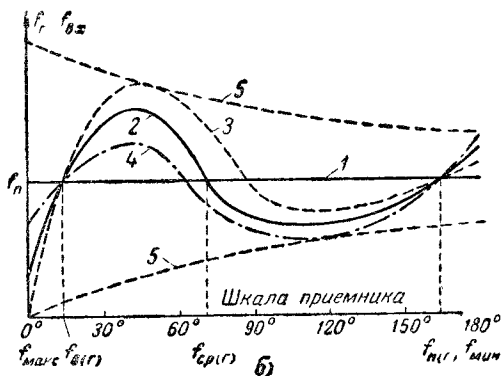
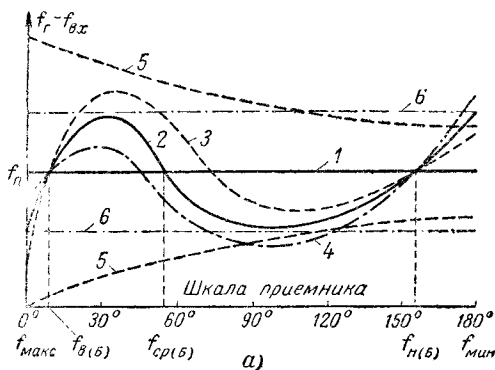


Рис. 18. Ошибка сопряжения из-за неправильно выбранной емкости сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$.

а — сопряжение по формуле (Б); б — сопряжение по формуле (Г); (1 — линия промежуточной частоты; 2 — сопряжение при оптимальной величине конденсатора $C_{\text{пос}}$; 3 — емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$ велика, а индуктивность катушки гетеродинного контура L_r мала; 4 — емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$ мала, а индуктивность катушки гетеродинного контура L_r велика; 5 — граница допустимой погрешности сопряжения; 6 — граница погрешности сопряжения при оптимальных условиях сопряжения по формуле (Б).

диапазона сдвинется к *низкочастотному* концу диапазона. И, наоборот, если емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пос}}$ *меньше* необходимой, то при настройке гетеродинного контура индуктивность катушки L_r получится *больше*, чем нужно, а емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ меньше. В результате точка точного сопряжения в середине диапазона сдвинется к его *высокочастотному* концу (рис. 18, а и б).

По этим признакам можно определить, как надо изменить емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$, чтобы получить правильное сопряжение. Если при проверке сопряжения окажется, что точка точного сопряжения в середине диапазона сдвинута к *низкочастотному* концу диапазона, то емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$ надо *уменьшить*. Если же точка точного сопряжения окажется сдвинутой к *высокочастотному* концу диапазона, то, наоборот, емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$ следует *увеличить*. Но прежде чем изменять емкость этого конденсатора, полезно проверить, не допущена ли ошибка в выборе частот точного сопряжения (формулы сопряжения).

Ошибка в выборе формулы сопряжения. Допустим, что мы имеем кривую сопряжения, рассчитанную по формуле (Б) (рис. 19, а, кривая 2). Чтобы при той же емкости конденсатора $C_{\text{пос}}$, рассчитанного для сопряжения по формуле (Б), осуществить точное сопряжение на частотах $f_{\text{в(Г)}}$ и $f_{\text{н(Г)}}$ вместо частот $f_{\text{в(Б)}}$ и $f_{\text{н(Б)}}$, надо увеличить индуктивность гетеродинного контура L_r и тем самым скомпенсировать недостаток емкости конденсатора $C_{\text{пос}}$. В результате новая кривая сопряжения (кривая 3) пройдет ниже кривой 2 и частота точного сопряжения в середине диапазона $f_{\text{ср}}$ сдвинется по сравнению со старой частотой $f_{\text{ср(Б)}}$ ближе к высокочастотному концу: $f_{\text{ср}} > f_{\text{ср(Б)}} > f_{\text{ср(Г)}}$.

Пусть теперь мы имеем кривую сопряжения, рассчитанного по формуле (Г) (рис. 19, б, кривая 2). Чтобы при той же емкости конденсатора $C_{\text{пос}}$ осуществить точное сопряжение на частотах $f_{\text{в(Б)}}$ и $f_{\text{н(Б)}}$ вместо частот $f_{\text{в(Г)}}$ и $f_{\text{н(Г)}}$, надо уменьшить индуктивность катушки гетеродинного контура и тем самым скомпенсировать избыток емкости конденсатора $C_{\text{пос}}$ [см. неравенство (24)]. Следовательно, новая кривая 3 сопряжения пройдет выше старой кривой 2, и действительная частота точного сопряжения в середине диапазона $f_{\text{ср}}$ окажется сдвинута по сравнению со старой частотой $f_{\text{ср(Г)}}$ ближе к низкочастотному концу: $f_{\text{ср}} < f_{\text{ср(Г)}} < f_{\text{ср(Б)}}$.

Таким образом, если при сопряжении по формуле (Г) частота точного сопряжения в середине диапазона $f_{\text{ср}}$ окажется не только больше $f_{\text{ср(Г)}}$, но даже больше $f_{\text{ср(Б)}}$, то, значит, допущена ошибка в выборе формулы сопряжения. В этом случае следует перейти на формулу сопряжения (Б). Наоборот, если при сопряжении по формуле (Б) частота точного сопряжения в середине диапазона $f_{\text{ср}}$ окажется не только меньше $f_{\text{ср(Б)}}$, но и даже меньше $f_{\text{ср(Г)}}$, то следует перейти на формулу сопряжения (Г). Если же при сопряжении по формуле (Б) или (Г) частота точного сопряжения в середине диапазона $f_{\text{ср}}$ окажется в интервале частот $f_{\text{ср(Б)}} > f_{\text{ср}} > f_{\text{ср(Г)}}$ то, значит, допущена ошибка в выборе емкости конденсатора $C_{\text{пос}}$. Его емкость следует изменить и провести сопряжение заново по той же формуле.

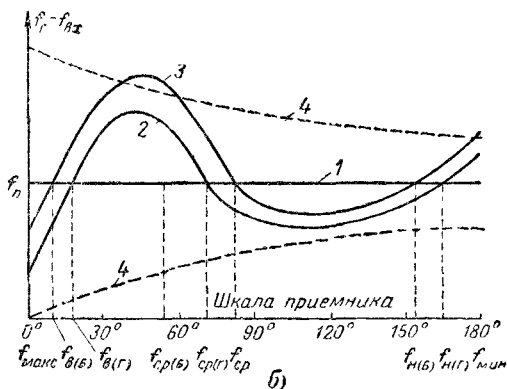
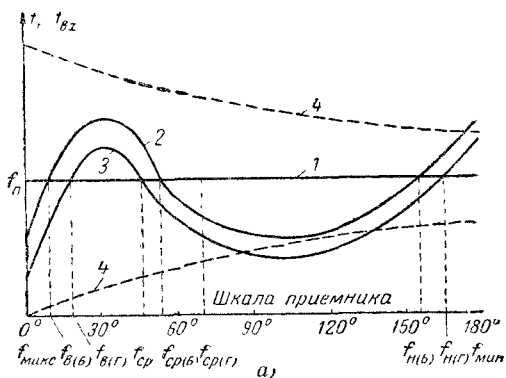


Рис. 19. Ошибка сопряжения из-за неправильного выбора частот точного сопряжения.

а — емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$ рассчитана на сопряжение по формулам (Б), а сопряжение осуществлено по формуле (Г); б — емкость конденсатора $C_{\text{пос}}$ рассчитана на сопряжение по формуле (Г), а сопряжение осуществлено по формуле (Б) (1 — линия промежуточной частоты; 2 — правильное сопряжение; 3 — ошибочное сопряжение; 4 — граница допустимой погрешности сопряжения).

СОПРЯЖЕНИЕ В ДВУХ И В ОДНОЙ ТОЧКАХ

Сопряжение в двух точках. На полурастянутых диапазонах и на обзорном коротковолновом диапазоне в простых супергетеродинных приемниках иногда применяют сопряжение в двух точках при помощи только одного сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$.

Полоса пропускания входных контуров на коротковолновом диапазоне значительно шире, чем на других диапазонах, поэтому, несмотря на то, что при сопряжении в двух точках отклонение кривой сопряжения от промежуточной частоты больше, чем при сопряжении в трех точках, все же при одном входном контуре результаты получаются удовлетворительными.

Так как сопряжение производится только в двух точках, то точность сопряжения не зависит от того, какой контур при настройке берется за основу: входной или гетеродинный. Однако настройка входных контуров по гетеродинным значительно проще.

При сопряжении в двух точках за основу берут частоты точного сопряжения $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$, рассчитанные по формуле (15). Емкость сопрягающего конденсатора $C_{\text{пар}}$ и индуктивность гетеродинного контура $L_{\text{г}}$ подбирают при настройке. Методика сопряжения такая же, как при сопряжении по методу двух частот.

Существует два варианта сопряжения в двух точках. *Первый вариант* аналогичен первому варианту сопряжения по методу двух частот и применяется в том случае, когда известно положение частот точного сопряжения на шкале приемника. Вначале указатель настройки приемника совмещают с риской на шкале, соответствующей частоте $f_{\text{н}}$. На вход приемника подают от сигнал-генератора соответствующую частоту и настраивают гетеродинный контур подстроечным сердечником по максимальному показанию индикатора выхода приемника. Затем подстроечным сердечником настраивается высокочастотный контур.

После этого указатель настройки приемника совмещают с отметкой частоты точного сопряжения на высокочастотном конце диапазона $f_{\text{в}}$. На вход приемника от сигнал-генератора подают соответствующую частоту и по максимальному показанию индикатора выхода приемника настраивают гетеродинный контур подстроечным конденсатором. Затем подстроечным конденсатором настраивают по индикатору выхода высокочастотный контур.

Сопряжение контуров на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона повторяется несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечных конденсаторов и сердечников.

Второй вариант сопряжения в двух точках аналогичен второму варианту сопряжения по методу двух частот и применяется в том случае, когда неизвестно положение частот точного сопряжения на шкале приемника.

Вначале устанавливают границы диапазона. На вход приемника от сигнал-генератора подают минимальную частоту диапазона $f_{\text{мин}}$. Конденсаторы блока настройки приемника устанавливают в положение максимальной емкости и настраивают гетеродинный контур подстроечным сердечником по максимальному показанию индикатора выхода приемника.

Затем конденсаторы блока настройки приемника устанавливают в положение минимальной емкости, и на вход приемника от сигнал-генератора подают максимальную частоту диапазона. Гетеродинный

контур настраивают по индикатору выхода подстроечным конденсатором.

Настройку гетеродинного контура на низкочастотном и высокочастотном конце диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечного конденсатора и сердечника.

Далее на вход приемника от сигнал-генератора подают частоту точного сопряжения на низкочастотном конце диапазона. Приемник настраивают на нее ручкой настройки и подстроечным сердечником подстраивают высокочастотный контур. Точно так же подстраивают высокочастотный контур на частоту точного сопряжения на высокочастотном конце диапазона, но уже подстроечным конденсатором.

Следует помнить, что при настройке контура на высокочастотном конце диапазона его настройка на низкочастотном конце несколько изменяется. Поэтому настройку входного контура на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона следует повторить 2—3 раза, пока не перестанет изменяться положение подстроечного конденсатора и сердечника.

Сопряжение в одной гочке. На растянутых коротковолновых диапазонах и в любительских коротковолновых приемниках применяется сопряжение только в середине диапазона без сопрягающих конденсаторов. В этом случае высокочастотный контур настраивают по гетеродинному.

На вход приемника от сигнал-генератора подают среднюю частоту диапазона [см. формулу (11)]. Указатель настройки приемника устанавливают на середину шкалы. Гетеродинный контур настраивают по индикатору выхода подстроечным сердечником катушки индуктивности или подстроечным конденсатором. Затем на среднюю частоту диапазона таким же путем настраивают высокочастотный контур.

При сопряжении в одной точке достаточно только одного органа подстройки: подстроечного конденсатора или подстроечного сердечника катушки индуктивности. При этом никаких повторных подстроек не требуется.

Кривая сопряжения в этом случае имеет вид, показанный на рис. 6 (кривая 2). Так как ширина диапазона невелика, то кривая сопряжения не успевает значительно отойти от промежуточной частоты и качество сопряжения получается хорошее.
